



**INFORMATION SCIENCE
&
COMPUTING**

International Book Series

Number 3

**Decision Making
and
Business Intelligence
Strategies and Techniques**

Supplement to
International Journal "Information Technologies and Knowledge" Volume 2 / 2008

**ITHEA
SOFIA, 2008**

Krassimir Markov, Krassimira Ivanova, Ilia Mitov (ed.)

Decision Making and Business Intelligence Strategies and Techniques

International Book Series "INFORMATION SCIENCE & COMPUTING", Number 3

Supplement to the International Journal "INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE" Volume 2 / 2008

Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA

Sofia, Bulgaria, 2008

This issue contains a collection of papers in the field of Decision Making and Business Intelligence. Papers are selected from the International Conferences of the Joint International Events of Informatics "ITA 2008", Varna, Bulgaria.

International Book Series "INFORMATION SCIENCE & COMPUTING", Number 3
Supplement to the International Journal "INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE" Volume 2, 2008

Edited by **Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA**, Bulgaria,
in collaboration with

- **V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NAS**, Ukraine,
- **Institute of Mathematics and Informatics, BAS**, Bulgaria,
- **Institute of Information Technologies, BAS**, Bulgaria.

Publisher: **Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA**, Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria.
Издател: **Институт по информационни теории и приложения ФОИ ИТЕА**, София, 1000, п.к. 775, България
www.ithea.org, www.foibg.com, e-mail: info@foibg.com

General Sponsor: **Consortium FOI Bulgaria** (www.foibg.com).

Printed in Bulgaria

Copyright © 2008 All rights reserved

© 2008 Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA - Publisher

© 2008 Krassimir Markov, Krassimira Ivanova, Ilia Mitov – Editors

© 2008 For all authors in the issue.

ISSN 1313-0455 (printed)

ISSN 1313-048X (online)

ISSN 1313-0501 (CD/DVD)

PREFACE

The scope of the International Book Series "Information Science and Computing" (**IBS ISC**) covers the area of Informatics and Computer Science. It is aimed to support growing collaboration between scientists from all over the world. IBS ISC is official publisher of the works of the members of the ITHEA International Scientific Society.

The official languages of the IBS ISC are English and Russian.

IBS ISC welcomes scientific papers and books connected with any information theory or its application. IBS ISC rules for preparing the manuscripts are compulsory. The rules for the papers and books for IBS ISC are given on www.foibg.com/ibdisc. The camera-ready copy of the papers and books should be received by e-mail: info@foibg.com.

Responsibility for papers and books published in IBS ISC belongs to authors.

The Number 3 of the IBS ISC contains collection of papers in the field of Decision Making and Business Intelligence. Papers are peer reviewed and are selected from the several International Conferences, which were part of the Joint International Events of Informatics "ITA 2008", Varna, Bulgaria.

ITA 2008 has been organized by

Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA

in collaboration with:

- ITHEA International Scientific Society
- International Journal "Information Theories and Applications"
- International Journal "Information Technologies and Knowledge"
- Association of Developers and Users of Intelligent Systems (Ukraine)
- Association for Development of the Information Society (Bulgaria)
- V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine
- Institute of Mathematics and Informatics, BAS (Bulgaria)
- Institute of Information Technologies, BAS (Bulgaria)
- Institute of Mathematics of SD RAN (Russia)
- Taras Shevchenko National University of Kiev (Ukraine)
- Universidad Politecnica de Madrid (Spain)
- BenGurion University (Israel)
- Rzeszow University of Technology (Poland)
- University of Calgary (Canada)
- University of Hasselt (Belgium)
- Kharkiv National University of Radio Electronics (Ukraine)
- Astrakhan State Technical University (Russia)
- Varna Free University "Chernorizets Hrabar" (Bulgaria)
- National Laboratory of Computer Virology, BAS (Bulgaria)
- Uzhgorod National University (Ukraine)
- Sofia University "Saint Kliment Ohridski" (Bulgaria)
- Technical University – Sofia (Bulgaria)
- New Bulgarian University (Bulgaria)

The main ITA 2008 events were:

KDS	XIVth International Conference "Knowledge - Dialogue – Solution"
i.Tech	Sixth International Conference "Information Research and Applications"
MeL	Third International Conference "Modern (e-) Learning"
ISK	Second International Scientific Conference "Informatics in the Scientific Knowledge"
INFOS	International Conference "Intelligent Information and Engineering Systems"
GIT	Sixth International Workshop on General Information Theory
CS	Third International Workshop "Cyber Security"
eM&BI	Second International Workshop "e-Management & Business Intelligence"
IMU ICT	International Seminar "Information Models' Utility in Information and Communication Technologies"
ISSI	Second International Summer School on Informatics

More information about ITA 2008 International Conferences is given at the www.foibg.com.

The great success of ITHEA International Journals, International Book Series and International Conferences belongs to the whole of the ITHEA International Scientific Society.

We express our thanks to all authors, editors and collaborators who had developed and supported the International Book Series "Information Science and Computing".

General Sponsor of IBS ISC is the **Consortium FOI Bulgaria** (www.foibg.com).

Sofia, June 2008

Kr. Markov, Kr. Ivanova, I. Mitov

TABLE OF CONTENTS

<i>Preface</i>	3
<i>Table of Contents</i>	5
<i>Index of Authors</i>	7

Papers in English

Reasoning by Structural Analogy Taking into Account the Context for Intelligent Decision Support Systems <i>Alexander Ereemeev, Pavel Varshavskiy</i>	9
About the Multi Criteria Ranging Problem in the Fuzzy Environment <i>Tatiana Agrafonova, Nina Titova</i>	17
Applied Aspects of Mathematical Modeling and Optimization of Dynamics of Charged Beams <i>Fedir Garashchenko, Igor Kharchenko</i>	23
Reduction Measurements for Calculation in Fuzzy Experiment Scheme <i>Andriy Zavorotnyy, Veda Kasyanyuk</i>	29
Competence-Based Support of Interaction between Business Network Members <i>Alexander Smirnov, Alexey Kashevnik, Nikolay Shilov</i>	35
An Information Model for Pension Fund Management <i>Oleksandra Putyatina</i>	41
Systemological Bases of Business Intelligence <i>Mikhail Bondarenko, Ekaterina Solovyova, Dmitriy Elchaninov</i>	47
Information Technologies for Strategic Management <i>Todorka Kovacheva</i>	53
Method of Elimination Data Sources Conflicts in Information System <i>Viktor Levykin, Maksim Evlanov</i>	57
Situational Script Management of Business Processes with Changeable Structure <i>Sergey Chaliy, Oksana Chala</i>	62

Papers in Russian

Иерархические модели принятия решений в многокритериальных задачах <i>Альберт Воронин</i>	67
Модельное описание процессов развития: механизмы, структура, система целей, индикаторы <i>Анатолий Крусиков</i>	73
Снижение размерности признакового пространства в задачах многокритериальной классификации <i>Алексей Петровский, Григорий Ройзензон</i>	81

Обобщенные интервальные оценки в сценарном анализе <i>Михаил Стернин, Геннадий Шепелёв</i>	87
Комбинирование алгоритмов оптимизации муравьиными колониями и N-метода <i>Леонид Гуляницкий, Сергей Сиренко</i>	95
Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным <i>Наталья Куссуль, Николай Ильин, Сергей Скакун, Алла Лавренюк</i>	103
Базовые интеллектуальные компоненты корпоративной системы управления бизнес-процессами <i>Юрий Пономарев, Татьяна Борисенко, Леся Медведева, Виктор Борисенко</i>	110
Возможные сценарии развития билингвистической среды <i>Ирина Горицына, Александр Глуценко</i>	115
Бортовые оперативно-советующие экспертные системы – новый класс алгоритмов управления <i>Борис Федунюв</i>	123
Информационно-аналитические модели и эволюционные аспекты решения задачи комплектования <i>Виталий Снитюк, Павел Кучер</i>	133
Структуризация задач и функциональных модулей системы поддержки принятия решений при пожаротушении на основе принципа информационного единства <i>Александр Джулай, Артем Быченко</i>	139
Об опыте разработки и использования экспертных систем для прогнозирования и управления экономическими макропараметрами <i>Алексей Волошин, Виктория Сатыр</i>	145
Оптимизация инвестиционного портфеля в условиях неопределенности на основе прогнозирования <i>Юрий Зайченко, Малихех Есфандиярфард</i>	151
Современные методологические и инструментальные подходы моделирования бизнес-задач <i>Елена Серова</i>	157
Один класс отраслевых производственных функций и функций прибыли для экологической экономики <i>Игорь Ляшенко</i>	163

INDEX OF AUTHORS

Tatiana Agrafonova	17	Виктор Борисенко	110
Mikhail Bondarenko	47	Татьяна Борисенко	110
Oksana Chala	62	Артем Быченко	139
Sergey Chaliy	62	Алексей Волошин	145
Dmitriy Elchaninov	47	Альберт Воронин	67
Alexander Eremeev	9	Александр Глущенко	115
Maksim Evlanov	57	Ирина Горицына	115
Fedir Garashchenko	23	Леонид Гуляницкий	95
Alexey Kashevnik	35	Александр Джулай	139
Veda Kasyanyuk	29	Малихех Есфандиярфард	151
Igor Kharchenko	23	Юрий Зайченко	151
Todorka Kovacheva	53	Николай Ильин	103
Viktor Levykin	57	Анатолий Крисилов	73
Oleksandra Putyatina	41	Наталья Куссуль	103
Nikolay Shilov	35	Павел Кучер	133
Alexander Smirnov	35	Алла Лавренюк	103
Ekaterina Solovyova	47	Игорь Ляшенко	163
Nina Titova	17	Леся Медведева	110
Pavel Varshavskiy	9	Алексей Петровский	81
Andriy Zavorotnyy	29	Юрий Пономарев	110
		Григорий Ройзензон	81
		Виктория Сатыр	145
		Елена Серова	157
		Сергей Сиренко	95
		Сергей Скакун	103
		Виталий Снитюк	133
		Михаил Стернин	87
		Борис Федунов	123
		Геннадий Шепелёв	87

REASONING BY STRUCTURAL ANALOGY TAKING INTO ACCOUNT THE CONTEXT FOR INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS

Alexander Eremeev, Pavel Varshavskiy

Abstract: *Development of methods and tools for modeling human reasoning (common sense reasoning) by analogy in intelligent decision support systems is considered. Special attention is drawn to modeling reasoning by structural analogy taking the context into account. The possibility of estimating the obtained analogies taking into account the context is studied. This work was supported by RFBR.*

Keywords: *Intelligent decision support systems, expert diagnostics systems, analogous reasoning, case-based reasoning.*

ACM Classification Keywords: *H.4.2 [Information systems applications]: Types of systems – Decision support; I.2.5 [Artificial intelligence]: Programming Languages and Software – Expert system tools and techniques; I.2.6 [Artificial intelligence]: Learning – Analogies.*

Conference: *The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008*

Introduction

Reasoning by analogy plays a central role in many cognitive processes affecting: problem solving, creativity, basic cognitive perceptions and especially learning. However, analogy is primarily of interest as a workaday process, supporting inference in novel situations by comparison with past experience. Rather than reasoning from "first principles", analogical reasoning uses a noted similarity between some problem domain and a well-known one to infer useful facts about that problem domain. The analogy can be used in various applications of artificial intelligence (AI) [1]. The great interest in this problem is caused by the necessity of modeling human reasoning (common sense reasoning) in AI systems and, in particular, in intelligent decision support systems (IDSS) [2].

At the present time, there are a great number of various models, schemes, and methods that describe mechanisms of reasoning by analogy [3-10]. The best known models of reasoning by analogy from the 1960's were *ARGUS* and *ANALOGY* [3]. The analogy used for solving various problems, e.g., for solving problems of automated theorem proving [4], for generation of hypotheses about an unknown subject domain, for generalizing the experience in the form of an abstract scheme, etc. [5-10]. Starting from Winston's work there is widely used the notion of structural analogy [7].

Unfortunately, there are not such modern systems and tools of reasoning by analogy, which are oriented to use in IDSS and, in particular, in real-time IDSS (RT IDSS).

In this paper, we consider approaches and methods of reasoning by structural analogy, which are oriented towards use in RT IDSS. These systems are usually characterized by strict constraints on the duration of the solution search [1, 2].

The use of the respective methods in IDSS broadens the possibilities of IDSS and increases the efficiency of making decisions in various problem (abnormal) situations.

Special attention in this paper will be paid to the most efficient inference method on the basis of structural analogy that takes into account the context.

Reasoning by analogy

The English word *analogy* is derived from the Greek word *analogia* meaning equality of ratios or proportion. In everyday usage, analogy means similarity or resemblance or an argument or reasoning based on them. Analogy treats cases as "like" if they possess quantitative or qualitative attributes or relations in common which are

regarded as relevant or material or important for the purpose in question and these outweigh the differences between them. Such attributes or relations in common will be referred to as “material resemblances”.

Reasoning by analogy is the transfer of knowledge obtained from an object to a less studied one, which is similar to the latter with respect to some essential properties or attributes. Thus, reasoning by analogy can be defined as a method that allows to understand a situation when compared with another one.

Analysis of the literature has shown that one can distinguish various types of analogies [1, 13, 14]. Depending on the nature of information transferred from an object of an analogy to the other one, the analogy of properties and that of relations can be distinguished.

The analogy of properties considers two single objects or a pair of sets (classes) of homogeneous objects, and the transferred attributes are properties of these objects.

The analogy of relations considers pairs of objects, where the objects can be absolutely different and the transferred attributes are properties of these relations.

According to plausibility degrees one can distinguish three types of analogies: strict scientific analogies, nonstrict scientific analogies, and nonscientific analogies.

A strict scientific analogy is applied to scientific studies and mathematical proofs.

Unlike the strict analogy, a nonstrict scientific analogy results only in plausible (probable) reasoning. If the probability of a false statement is taken equal to 0 and that of the true statement is taken equal to 1, then the probability of inference by a nonstrict analogy lies in the interval from 0 to 1.

The probability of conclusions by a nonscientific analogy is not high and often is close to 0. A nonscientific analogy is often used deliberately to perplex the opponent. Sometimes, a nonscientific analogy is used unintentionally, by someone not knowing the rules of analogies or having no factual knowledge concerning the objects and their properties that underlie the inference. For example, nonscientific analogies underlie superstitions.

In what follows, we consider in detail the method of reasoning by structural analogy, which allows one to take into account the context. We use semantic networks (SNs) as a model of knowledge representation [1, 11].

Knowledge representation in the form of a semantic network

The choice of an SN for knowledge representation possesses an important advantage, which distinguishes it from other models, such as natural representation of structural information and fairly simple updating in a relatively homogenous environment. The latter property is very important for RT IDSSs oriented towards open and dynamical problem domains.

A *semantic network* is a graph $\langle V, E \rangle$ with labeled vertices and arcs, where V and E are sets of vertices and arcs, respectively. The vertices can represent objects (concepts, events, actions, etc.) of the problem domain, and the arcs represent the relation between them.

We consider the structure of the SN in more detail using an example from power engineering - operation control of the nuclear power unit (see fig. 1-3) [1, 11, 12].

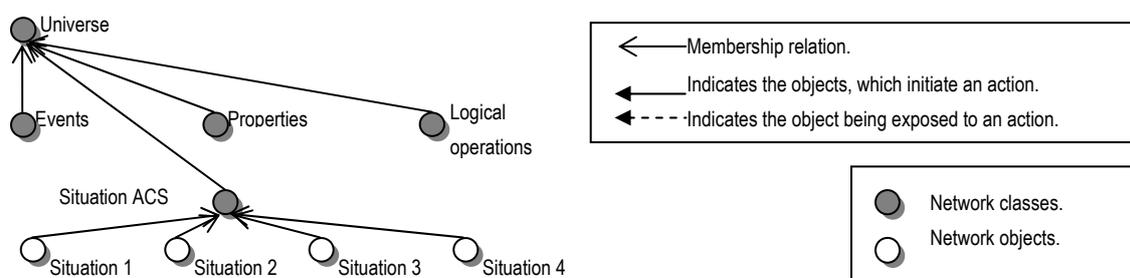


Fig. 1 Meta-level of semantic network

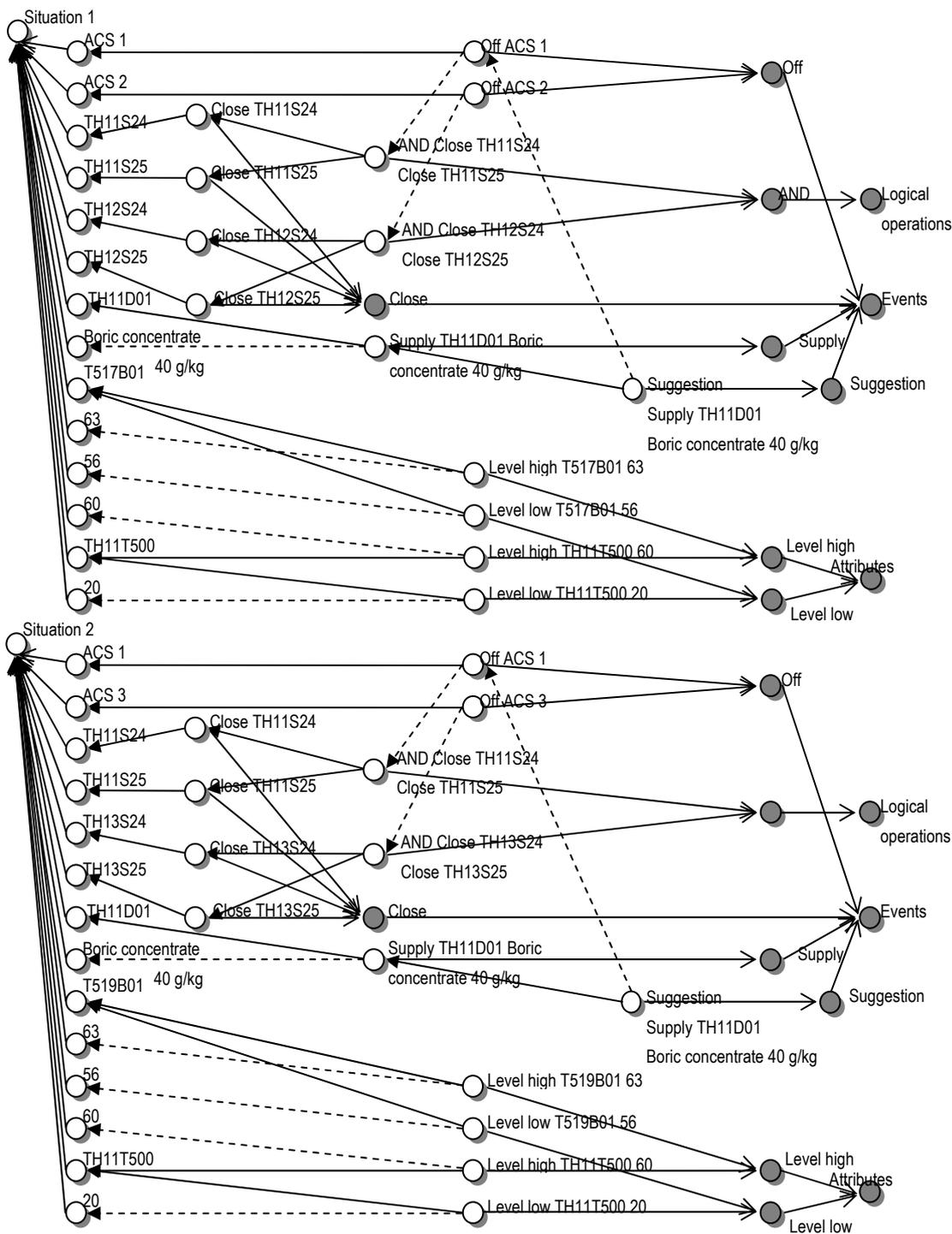


Fig. 2 Part of semantic network, which illustrates Situation 1 and 2 formed in the process of reactor zone automatic cooling system (ACS) operating

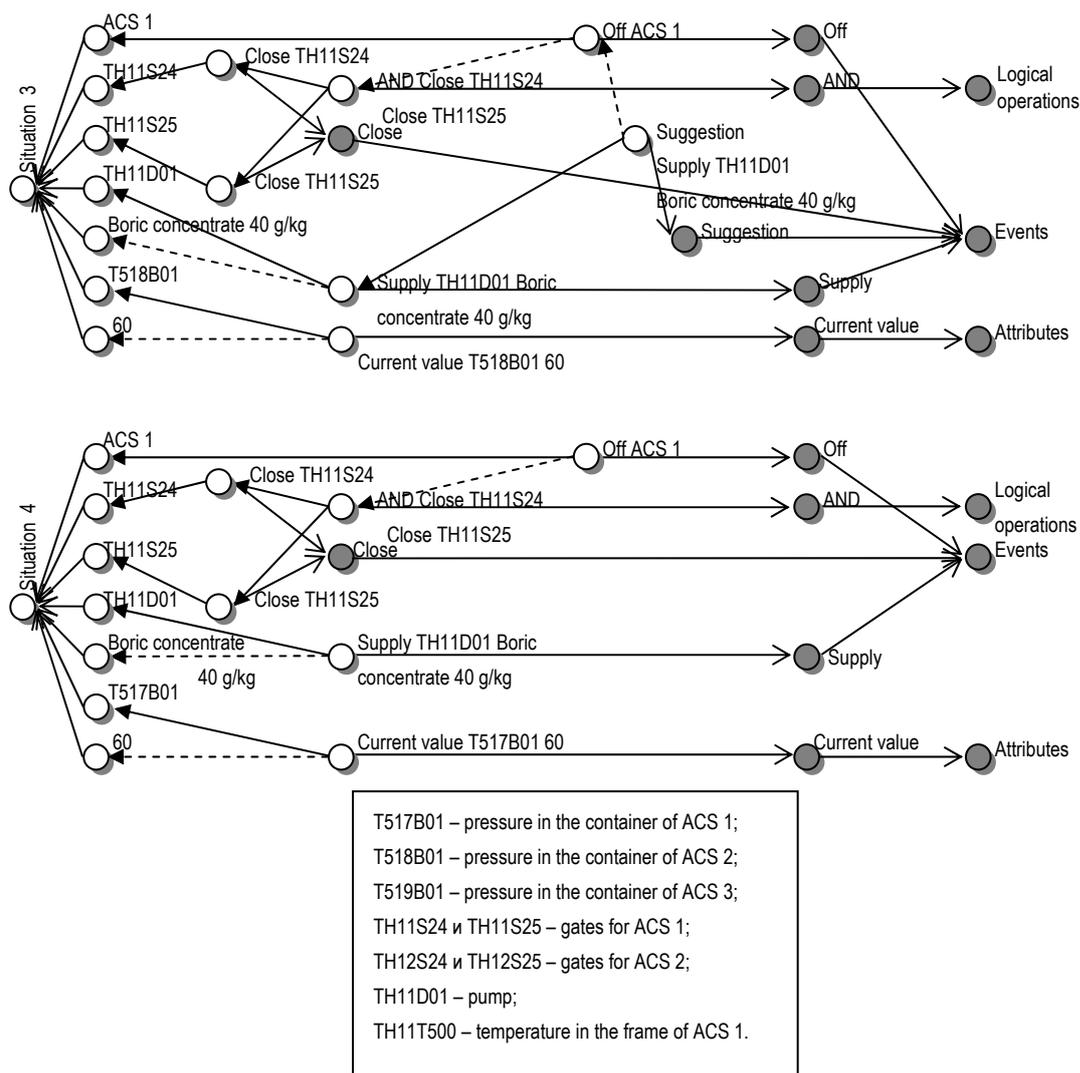


Fig. 3 Part of network, which illustrates Situation 3 and 4 formed in the process of reactor zone automatic cooling system (ACS) operating

Reasoning by structural analogy taking into account the context

In [8] it was proposed to consider an analogy as a quadruple $A = \langle O, C, R, P \rangle$, where O and R are the source object and the receiver object and C is the intersection object, i.e., the object that structurally is intersected with the object source and object receiver, and has a larger cardinality of the set of properties in the comparison with these objects. In other words, the analogy between the source object and receiver object is considered in the context of the intersection C , and P is the property for definition of the original context. The structure of this analogy is represented in fig. 4.

Using the described structure of the analogy, the authors of [8] propose the algorithm for the problem solution that is based on an analogy of the properties. An SN with information about the problem domain, a receiver R , and the property for defining the original context P provide input data for this algorithm.

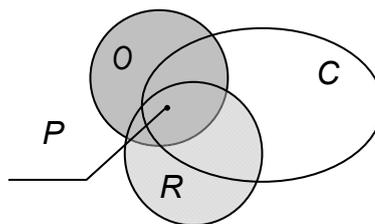


Fig. 4 Structure of analogy using the context

The algorithm for the problem solution on the basis of an analogy taking into account the context consists of the following stages:

Stage 1. Determine all objects of the SN, except for receiver R , that have property P . If there are no objects of this kind, then the search for a solution fails (without finding an analogy), otherwise, go to stage 2.

Stage 2. For the objects found in stage 1, determine all possible intersections of C with R taking into account P . If there are no intersections of C with R , the first search for a solution fails, otherwise, go to stage 3.

Stage 3. From the objects extracted in stage 1, determine all possible sources O for analogies with the receiver and the intersection taking into account P . In the case of success (possible analogies for R are defined), go to stage 4, otherwise, the search for a solution fails.

Stage 4. From the analogies extracted in stage 3, choose the most appropriate ones (taking into account the requirements of the decision making person (DMP)). In the case of success, go to stage 5; otherwise, the search for a solution fails.

Stage 5. The analogies obtained in stage 4 (which could be previously compared with each other taking into account the context) are given to the DMP, which means successful termination of the algorithm.

Having obtained analogies, the DMP may then make the final choice of the best ones. On the basis of these facts, the facts (properties) that hold for the source O are transferred to the receiver R .

Consider a modified algorithm for a problem solution that uses the structural analogy based on the modified structure of an analogy and the algorithm for the search of minimal intersections [1, 11, 14]. The modification consists in the fact that P is considered not as a unique property, but as a set of properties that determine the original context of the analogy.

As compared with the base variant, one of the main advantages of this modified algorithm is the possibility of implementing the search for a solution on the basis of an analogy without refining the original context, since in the result of the search for the minimal intersection, one can easily distinguish all possible contexts for the analogy. Another important advantage of the modified algorithm is the possibility of a more detailed refinement of the original context for the determination of analogies. This is especially important in the work with a complex object, when one should operate with large amount of information, since the more detailed the original context, the faster the search for a solution on the basis of analogies will be implemented and the more qualitative the solution will be obtained. Moreover, in the modified algorithm there is a possibility to construct an analogy taking into account the context between well-known objects, the source and the receiver.

Thus, in the execution of the modified algorithm the procedure of searching for minimal intersections is used. In turn, the minimal intersections determine the context for the analogy. At the second stage, depending on the fact whether an object source and a property or a set of properties are given, or there is no properties for definition of the original context from objects that are contained in the set of generators of minimal intersections, analogies are formed. In the case of successful termination of the search for a solution on the basis of analogies, new facts for the receiver object will be obtained.

Estimation of analogies taking into account the context

Upon finding the set of possible analogies V_A for receiver R the problem of choosing the most preferable (best) variants arises. We introduce the preference relation on the set of analogies taking into account the context.

An analogy $A = \langle O, C, R, P \rangle$ is *preferable* to the analogy $A' = \langle O', C', R, P' \rangle$ ($A \succ A'$) if and only if $n_{OCR} > n_{O'CR}$, where n_{OCR} and $n_{O'CR}$ are the number of properties in the sets $P_{OCR} = P_O \cap P_C \cap P_R$ and $P_{O'CR} = P_{O'} \cap P_{C'} \cap P_R$, where P_O is the properties of O , P_C is the properties of C , P_R is the properties of R , $P_{O'}$ is the properties of O' , $P_{C'}$ is the properties of C' .

An analogy $A = \langle O, C, R, P \rangle$ is *incomparable* with an analogy $A' = \langle O', C', R, P' \rangle$ if and only if $n_{OCR} = n_{O'CR}$.

The set of incomparable analogies for the receiver object R in the context of properties P is denoted by V_A^* .

Consider the estimation of analogies by the following example. Let the application of the algorithm of the search for a solution on the basis of analogies result in five analogies:

$$\begin{aligned} A_1 &= \langle O_1, C_1, R, P \rangle, P_{O_1C_1R} = \{p^1_1, \dots, p^1_{n_1}\}, n_1=3; \\ A_2 &= \langle O_2, C_1, R, P \rangle, P_{O_2C_1R} = \{p^2_1, \dots, p^2_{n_2}\}, n_2=4; \\ A_3 &= \langle O_3, C_1, R, P \rangle, P_{O_3C_1R} = \{p^3_1, \dots, p^3_{n_3}\}, n_3=7; \\ A_4 &= \langle O_2, C_2, R, P \rangle, P_{O_2C_2R} = \{p^4_1, \dots, p^4_{n_4}\}, n_4=6; \\ A_5 &= \langle O_4, C_2, R, P \rangle, P_{O_4C_2R} = \{p^5_1, \dots, p^5_{n_5}\}, n_5=7. \end{aligned}$$

Then, we denote the following preferences:

$$\begin{aligned} A_2 &\succ A_1; \\ A_3 &\succ A_1, A_3 \succ A_2, A_3 \succ A_4; \\ A_4 &\succ A_1, A_4 \succ A_2; \\ A_5 &\succ A_1, A_5 \succ A_2, A_5 \succ A_4. \end{aligned}$$

As a result, we have two incomparable analogies A_3 and A_5 , which are more preferable than A_1 , A_2 , and A_4 and form the Pareto set $V_A^* = \{A_3, A_5\}$.

By means of the described procedure one can reduce the general number of analogies given by DMP (expert) for the analysis and the final choice. It is possible to compare the analogies obtained for different objects R and R' in the context of different properties P and P' . In this case, the relation of the preference is defined in the following way.

An analogy $A = \langle O, C, R, P \rangle$ is *preferable* to the analogy $A' = \langle O', C', R, P' \rangle$ ($A \succ A'$) if and only if $k_{OCR} > k_{O'CR}$, where $k_{OCR} = n_{OCR} / (n_{RC} + n_{OC} - n_{OCR})$, $k_{O'CR} = n_{O'CR} / (n_{R'C'} + n_{O'C'} - n_{O'CR})$. The value k_{OCR} reflects the likeness (similarity) of receiver R and source O in the given context C and can be expressed in percent, and n_{OCR} and $n_{O'CR}$ are the numbers of properties in the sets P_{OCR} and $P_{O'CR}$, while n_{RC} , $n_{R'C'}$, n_{OC} , $n_{O'C'}$ is the number of properties in sets P_{RC} , $P_{R'C'}$, P_{OC} , $P_{O'C'}$.

An analogy $A = \langle O, C, R, P \rangle$ is *incomparable* with analogy $A' = \langle O', C', R, P' \rangle$ if and only if $k_{OCR} = k_{O'CR}$.

Consider the estimation of two analogies taking into account the context by the above-described example from power engineering (see fig. 1-3):

$A_1 = \langle \text{Situation 3, Situation 1, Situation 4, } P \rangle, P = \{\text{Close TH 11S24}\},$

$P_{\text{Situation 3, Situation 1, Situation 4}} = \{\text{Off ACS 1, Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg, AND Close TH11S24 Close TH11S25, Close TH 11S24, Close THS11S25}\},$

$P_{\text{Situation 3, Situation 1}} = \{\text{Off ACS 1, Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg, AND Close TH11S24 Close TH11S25, Close TH 11S24, Close THS11S25, Suggestion Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg}\},$

$P_{\text{Situation 4, Situation 1}} = \{\text{Off ACS 1, Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg, AND Close TH11S24 Close TH11S25, Close TH 11S24, Close THS11S25}\},$

$n_{\text{Situation 3, Situation 1, Situation 4}} = 5, n_{\text{Situation 3, Situation 1}} = 6, n_{\text{Situation 4, Situation 1}} = 5,$

$k_{\text{Situation 3, Situation 1, Situation 4}} = n_{\text{Situation 3, Situation 1, Situation 4}} / (n_{\text{Situation 4, Situation 1}} + n_{\text{Situation 3, Situation 1}} - n_{\text{Situation 3, Situation 1, Situation 4}}) = 5 / (5 + 6 - 5) = 0,8333 (83,33\%);$

$A_2 = \langle \text{Situation 3, Situation 2, Situation 4, } P \rangle, P = \{\text{Close TH 11S24}\},$

$P_{\text{Situation 3, Situation 2, Situation 4}} = \{\text{Off ACS 1, Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg, AND Close TH11S24 Close TH11S25, Close TH 11S24, Close THS11S25}\},$

$P_{\text{Situation 3, Situation 2}} = \{\text{Off ACS 1, Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg, AND Close TH11S24 Close TH11S25, Close TH 11S24, Close THS11S25, Suggestion Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg}\},$

$P_{\text{Situation 4, Situation 2}} = \{\text{Off ACS 1, Supply TH11D01 Boric concentrate 40 g/kg, AND Close TH11S24 Close TH11S25, Close TH 11S24, Close THS11S25}\},$

$n_{\text{Situation 3, Situation 2, Situation 4}} = 5, n_{\text{Situation 3, Situation 2}} = 6, n_{\text{Situation 4, Situation 2}} = 5,$

$k_{\text{Situation 3, Situation 2, Situation 4}} = n_{\text{Situation 3, Situation 2, Situation 4}} / (n_{\text{Situation 4, Situation 2}} + n_{\text{Situation 3, Situation 2}} - n_{\text{Situation 3, Situation 2, Situation 4}}) = 5 / (5 + 6 - 5) = 0,8333 (83,33\%).$

Thus, it is clear that the two obtained analogies are incomparable, since their values of likeness have the same value 83,33%. They can be both represented by the DMP for the choice of the most preferable variant ($V_A^* = \{A_1, A_2\}$).

Conclusion

In this paper, a solution of problem of real-time diagnostics and forecasting in modern IDSS on the basis of a structural analogy was proposed.

Various types of analogies were analyzed. The method of reasoning by structural analogy was considered from the aspect of its application in RT IDSS.

The example of an algorithm for the solution search on the basis of an analogy of properties that takes into account the context was proposed. The more efficient algorithm, in the sense of the solution quality, is proposed [11, 13]. It uses a modified structure of an analogy that is capable of taking into account not one property (as in the base algorithm), but a set of properties. These properties determine the original context of the analogy and transfer from the source to the receiver only those facts that are relevant in the context of the constructed analogy. The possibility of estimating the obtained analogies taking into account the context is studied [1].

The proposed mechanism of reasoning by structural analogy was implemented in Borland C++ Builder for Windows [14].

The presented methods and tools were applied in prototype of a RT IDSS on the basis of nonclassical logics for monitoring and control of complex objects like power units.

Bibliography

1. Varshavskii P.R., Ereemeev A.P. Analogy-Based Search for Solutions in Intelligent Systems of Decision Support // Integrated models and flexible calculations in artificial intelligence, Journal of Computer and Systems Sciences International, v. 44(1), 2005, p. 90–101.
2. Vagin V.N., Ereemeev A.P. Certain Basic Principles of Designing Real-Time Intelligent Decision Systems // Journal of Computer and Systems Sciences International, v. 40(6), 2001, pp. 953-961.
3. Evans T. A program for the solution of a class of geometric analogy intelligence test questions // In Semantic Information Processing, Cambridge, MA: MIT Press, 1968, p. 271-353.
4. Plaisted D.A. Theorem proving with abstraction // Artificial Intelligence, v. 16(1), 1981, p. 47–108.
5. Kling R.E. A paradigm for reasoning by analogy // Artificial Intelligence, v. 2, 1971, p. 147–178.
6. Carbonell J.G. Learning by Analogy: Formulating and Generalizing Plans from Past Experience // Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, v. 1. Tioga. Palo Alto. Calif. 1983, p. 137-161.
7. Winston P.H. Learning and reasoning by analogy // Communications of the ACM, v. 23(12), 1980, p. 689–703.
8. Long D., Garigliano R. Reasoning by analogy and causality: a model and application // Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence, 1994.
9. Falkenhainer B., Forbus K., Gentner D., The Structure-Mapping Engine // In Proceedings of AAAI-86, PA, Philadelphia, 1986.
10. Thagard P., Holyoak K., Nelson G., Gochfeld D. Analog retrieval by constraint Satisfaction // Artificial Intelligence, v. 46, 1990, p. 259–310.
11. Ereemeev A., Varshavsky P. Analogous Reasoning for Intelligent Decision Support Systems // Proceedings of the XI-th International Conference “Knowledge-Dialogue-Solution” – Varna, v.1, 2005, p. 272-279.
12. Alexander Ereemeev, Pavel Varshavsky Analogous Reasoning and Case-Based Reasoning for Intelligent Decision Support Systems // International Journal INFORMATION Theories & Applications (ITHEA) 2006, Vol.13 № 4, pp. 316-324.
13. A.P. Ereemeev, P.R. Varshavsky Reasoning by structural analogy in intelligent decision support systems // Proceedings of the Seventh Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering JCKBSE'06. IOS Press, 2006, pp. 303-306.
14. Ereemeev A., Varshavsky P. Methods and Tools for Reasoning by Analogy in Intelligent Decision Support Systems // Proc. of the International Conference on Dependability of Computer Systems. Szklarska Poreba, Poland, 14-16 June, 2007, IEEE, pp.161-168.

Authors' Information

A.P. Ereemeev – Applied Mathematics Department of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Krasnokazarmennaya str., 14, Moscow, 111250, Russia; e-mail: eremeev@appmat.ru

P.R. Varshavskiy – Applied Mathematics Department of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Krasnokazarmennaya str., 14, Moscow, 111250, Russia; e-mail: varp@appmat.ru

ABOUT THE MULTI CRITERIA RANGING PROBLEM IN THE FUZZY ENVIRONMENT

Tatiana Agrafonova, Nina Titova

Abstract: Decision making and technical decision analysis demand computer-aided techniques and therefore more and more support by formal techniques. In recent years fuzzy decision analysis and related techniques gained importance as an efficient method for planning and optimization applications in fields like production planning, financial and economical modeling and forecasting or classification. It is also known, that the hierarchical modeling of the situation is one of the most popular modeling method. It is shown, how to use the fuzzy hierarchical model in complex with other methods of Multiple Criteria Decision Making. We propose a novel approach to overcome the inherent limitations of Hierarchical Methods by exploiting multiple criteria decision making.

Keywords: multiple criteria decision making, fuzzy hierarchical modeling, fuzzy system, alternative choice, unified scale.

ACM Classification Keywords: I.2.1 Computing Methodologies - Artificial Intelligence - Applications and Expert Systems

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Introduction

Nowadays there are a lot of methods of obtaining and storing information such as OLAP, DBSM and a lot of models of knowledge representation, but the main problem now is how to estimate and analyze obtained data. That means it's necessary to define the set of criteria for estimation of big amount of dynamic changed data and define their relative importance. It must be borne in mind that the storing information can be incomplete, inconsistent and fuzzy. For solving the problem the fuzzy analysis is needed to use.

As the result of the development of Multiple Criteria Decision Making (MCDM) using fuzzy set theory a number of innovations have been made possible. The new approach of MCDM using Fuzzy Hierarchical Modeling is introduced in the paper. It is shown, how to use the fuzzy hierarchical model in complex with other methods of MCDM. We propose a novel approach to overcome the inherent limitations of Hierarchical Methods by exploiting multiple criteria decision making.

Distributed Fuzzy Hierarchical Model

The basis of the model is the hierarchical structure of the factors, which was received as a result of function-structured decomposition of the data domain. The meta-levels of the structure are the following: first level is the level of the global aims, the second level is the level of the rival's aims, and the third level is the level of the measures for the achievement of the global aims and rivals aims removal. The last level is the level of the concrete actions. The links in the hierarchy define the dependency of the upper level element realization from the corresponding underlying level element. Thereby, the realization of possible measures for the achievement of the aim depends on some concrete undertaken actions. This hierarchy allows evaluating the importance of all the elements of the level taking into consideration their contribution in the top levels elements realization. The hierarchical structure analysis model allows to process local factors estimations. These estimations have, as a rule, fuzzy and inconsistent nature, got from sources of different reliability (from expert with different competence level). This hierarchical model also allows to get total global consistent and reliable in the sense of theories of the fuzzy sets estimations. Thereby, each decision will be characterized by its importance taking into consideration its role in the factors structure. But, such a decision characteristic is insufficient for all-round estimation. The

additional characteristics of the decision, such as its realization in economic, social, politic etc senses, must be considered. But, the hierarchical model can find the most needed decision in the current situation.

We propose a novel approach to overcome the inherent limitations of Hierarchical Methods by exploiting multiple distributed information repositories. The construction of fuzzy hierarchical model can be distributed between a numbers of experts. They may work to a single domain or to different domains. Also the distributed computational methods are used for making the expert estimation and for receiving the result.

Hierarchy analysis methods

The special role in the complex object analysis plays the analysis of the factors links graph's structure (the graph has the form of ordered hierarchical ranked structure). Directly influenced factors are situated on the graph's last level. The realization of these factors (as a rule they represent the concrete actions), spreading upwards on consecutively located levels of the factors hierarchical structure, will bring into the realization of all above located factors and, finally, - to the achievement of the global aims of the considered complex object development. At the moment, the strict statement of the hierarchy multilevel factors structure building problem doesn't exist. But, it is possible to indicate the principles of its practice construction. These principles are formulated in the form of six necessary conditions, which must satisfy considered hierarchical structures. It is naturally, that real hierarchical structures will satisfy these conditions only in certain measure, which depends on the used methods and algorithms of their formation.

Hierarchical factors structures are built on the base of the profound sense of used factors; the factors in the underlying level reveal the sense of the upper level factors, or the underlying level factors represent the events, which realization promotes the realization of upper level factors.

The realization of some of the factors, lying on the same level, must not influence the realization of the other factors of this level. In other words, the factors of the same level must be independent from each other.

Factors on the considered level directly depends only on the factors of the nearest underlying level of the hierarchy.

Fullness of the factors uncovering: factor on the considered hierarchy level is completely realized, if all the influencing its realization factors of the next underlying level are also realized.

Positive relationship between the upper level factors and underlying level factors: the realization of the underlying level factors must not provide the reduction of the realization possibility of the upper level factors.

Linearity of the functional links between the adjacent levels factors.

Analysis of a hierarchy with fuzzy estimations

First of all, we should build the hierarchy. On the objects set $Z = \{1, 2, \dots, M\}$ is defined the oriented graph $G_r = (Z, W)$ without cycles with the vertexes set coinciding with the objects set, and the arcs set W . The presence of the arc $(i, j) \in W$ means that the weight z_i of the object (vertex) i directly depends on the weight z_j of the object j . The graph G_r has the structure of the purposes and tasks graph of some complex system, if all the vertexes of this graph can be located on non crossing levels V_1, \dots, V_M in such a way, that the graph's arcs connect only the vertexes of the adjacent levels and these arcs lead from top to bottom, from the level V_i to the level V_{i+1} , $i = 1, \dots, M-1$; the vertexes, from which arcs don't leave, are located on the level V_M ; all the vertexes, in which arcs do not enter, are located on the level V_1 . The construction of the hierarchy is one of the most difficult stages because of the difficult formalization of the used objects, such as aims, rivals aims etc. After hierarchy construction, the elementary estimations should be made by experts. The elementary estimation consists on the getting for certain vertex $i \in V_m$ paired estimations $^{(i)}_{jk}$ of the arcs weights $(i, j) \in W$,

$j \in \Gamma_i = \{k \mid (i, k) \in W\}$. Paired estimations show, in how many times the contribution of the object j is more than the contribution of the object k in the achievement of the object i aim; $j, k \in \Gamma_i$. These estimations can be exact ($r_{jk}^{(i)} \in \mathbb{R}_+$ - nonnegative numbers), interval ($r_{jk}^{(i)} = [a_{jk}^{(i)}, b_{jk}^{(i)}] \subset \mathbb{R}$ - intervals) or fuzzy numbers ($r_{jk}^{(i)} = \{(t, \mu_{jk}^{(i)}(t)) \mid t \in \mathbb{R}_+\}$ - closed convex fuzzy sets on \mathbb{R}_+). The last case includes the linguistic estimates and two previous cases. Thereby, we get as a result of an elementary estimation an weighted binary relation $R^{(i)} = \{(j, k), r_{jk}^{(i)} \mid j, k \in \Gamma_i\}$ on the objects set Γ_i , which gives the intensity of the objects superiority. After getting the estimations, we must average them. In each of the elementary estimations can participate several experts, so for some pairs (j, k) of the objects $j, k \in \Gamma_i$ different experts s can assign different estimations $r_{jk}^{(i)s}$ (s - expert's number). The procedure of the expert estimation averaging consists in the determination of the mean geometric estimation.

Hierarchic structure arcs weights determination

The result of the pairs estimations average in the i elementary estimation - exact, interval or fuzzy relation $R_{(i)}$ - is used in the determination of the weights $y_{i,j}$, of all the arcs $(i, j) \in W$, coming out of the vertex i . The arcs weights satisfy the following condition:

$$\sum_{j \in \Gamma_i} y_{ij} = 1; y_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in \Gamma_i.$$

If there are several objects on the first level y_1 , then the "zero" elementary estimation is made, it means, that the pair comparison of the objects importance coefficients must be made. As a result of the "zero" estimation, the importance coefficients of the first level objects are determined.

The importance coefficients determination

After the elementary estimations results processing, the importance coefficients z_j of the objects $j \in V_1$ of the first level of the hierarchic structure are determined. And also the weights y_{ji} of all the arcs $(i, j) \in W$ are determined (the coefficients of the relative importance of the vertex $Y_{ji}^{(s)}$ for the vertex $Y_i^{(s-1)}$ of the nearest upper level, where s - is a level number. The weights of the underlying level objects are determined by the recurrence from top to bottom recalculation of the objects weights (objects importance coefficients):

$$z_i = \sum_{j \in \Gamma_i^{-1}} y_{ji} z_j, \quad i \in V_2,$$

.....

$$z_i = \sum_{j \in \Gamma_i^{-1}} y_{ji} z_j, \quad i \in V_M$$

$$(\Gamma_i^{-1} = \{j \mid (j, i) \in W\}).$$

The Different Experts Estimations Consensus Analysis

The coefficients importance validity is determined by the elementary estimations results validity. In the case, then the initial pairs estimations are fuzzy or mixed, the results validity is equal to the consensus degree of the initial

fuzzy relation $R^{(i)}$ and the resulting over transitive matrix, which is determined as a result of a special estimations approximation problem solution. The solution of the estimation approximation problem is made, using a modified method of Makeev and Shahnov. In the case, then the estimations are exact or interval, the results validity is characterized by the degree of the intervals bounds changes, which are assigned by the experts.

Model of Fuzzy Multiple Criteria Decision Making

Various character of source data used in alternative ranking problem cause difference of the problem statement. At the research the main source data are alternative estimations by each criterion (from some limited set of criteria). Feature of the expert obtained information is expert's dispensing from giving accurate estimations. The alternative estimations by each criterion can be fuzzy linguistic data defined by their distribution on criterion scales. The experts can make estimations of alternative by different criteria.

There are two fundamental issues. First, it's choosing the way of handle with multiple criteria. At the paper the conception of unified scale is introduced. The unified scale is made from criteria scales by merging. The use of the unified scale is correct if the criteria used for alternative estimation don't depend from each other by value. It isn't necessary for making the unified scale to have concrete value of gradation importance.

Second, it's necessary to define the way of comparing alternatives by one criterion in case of fuzzy alternative estimations. At the paper the combination of Jake-Lagrez method and fuzzy relation approximation by fuzzy reversible quasi-series method is used.

Let the ranging alternatives form the set $X = \{1, 2, \dots, n\}$. Each alternative is estimated by criteria and every criterion ξ is defined on the ordinal scale $E^\xi = \{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}\}$ with discrete gradations e_k^ξ , m^ξ is the number of scale's E^ξ gradations.

For each alternative $i \in X$ on each scale E^ξ experts make fuzzy estimations $\gamma^\xi(i)$ as the distribution $\gamma^\xi(i) = \{P_{i1}^\xi, \dots, P_{ik}^\xi, \dots, P_{im^\xi}^\xi\}$.

The value P_{ik}^ξ is interpreted as assurance that the alternative's i evaluation on the scale E^ξ is e_k^ξ .

One way of determination evaluation $\gamma^\xi(i)$ with alternatives group valuation is to take value P_{ik}^ξ proportionally to number of expert votes (or equal a fraction of number of expert votes), believing that alternative estimation i on the scale E^ξ is e_k^ξ .

Besides, the values can be interpreted as value of fuzzy estimation $\gamma^\xi(i)$ membership function defined over the base set E^ξ .

We shall assume that the estimations $\gamma^\xi(i)$ are distributed values, that means value $\sum_{k=1}^{m^\xi} P_{ik}^\xi$ doesn't depend

on i and ξ , without loss of generality we can consider that $\sum_{k=1}^{m^\xi} P_{ik}^\xi = 1, \forall i \in X, \xi = \overline{1, \alpha}$. (1.1)

Hence, each alternative i is characterized by α distributed values $\{\gamma^1(i), \gamma^2(i), \dots, \gamma^\alpha(i)\}$.

It seems natural that relative importance of different scales and gradations play a part in the comparison of alternatives i and j as well as the estimations $\gamma^\xi(i)$ and $\gamma^\xi(j)$ on all scales E^ξ play a part in the comparison too. We assume that the set $\{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}, \xi = \overline{1, \alpha}\}$ of all scales gradations can be ordered, that means the set can be decomposed into equal valued gradations classes C_1, \dots, C_m and the classes can be strict ordered $C_1 > C_2 > \dots > C_m$. (1.2)

Where " $>$ " - strong preference relation.

Thus, if the gradations $e_j^{\xi_1}$ and $e_t^{\xi_2}$ have the equal significance than they belong the same class C_p . If the first gradation is preferred than the second it means that $e_j^{\xi_1} \in C_q$, $e_t^{\xi_2} \in C_r$ and $q < r$.

The existence of the decomposition into classes can be guaranteed by axiomatic approach developed in the utility theory.

The following is correct for the defined classes.

$$\begin{aligned} (e_s^{\xi'}, e_t^{\xi''} \in C_i) &\Leftrightarrow (U_{\xi'}(e_s^{\xi'}) = U_{\xi''}(e_t^{\xi''})) \\ (e_s^{\xi'} \in C_i, e_t^{\xi''} \in C_j, i(j)) &\Leftrightarrow (U_{\xi'}(e_s^{\xi'}) > U_{\xi''}(e_t^{\xi''})) \end{aligned}$$

Essential property is that for making relation of strict preference $>$ under the preceding condition

$$e_s^{\xi'} > e_t^{\xi''} \Leftrightarrow U_{\xi'}(e_s^{\xi'}) > U_{\xi''}(e_t^{\xi''})$$

It is required from the system analyst the information only about the decomposition of all gradations $\{e_k^{\xi} \mid k = \overline{1, m^{\xi}}, \xi = \overline{1, \alpha}\}$ into classes C_1, \dots, C_m . Value of the utility function U doesn't needed. That "simplified" information is supposed to obtain from system analyst.

So, initial information for alternatives ranging is:

$X = \{1, \dots, n\}$ – the set of alternatives;

$\gamma^{\xi}(i)$ – every alternative $i \in X$ fuzzy estimations on each scale E^{ξ} ;

C_1, \dots, C_m – ordered classes scale E^{ξ} gradations $\xi = \overline{1, \alpha}$ which have the equal significance.

The goal of ranging is to make using mentioned initial information such decomposition of set X into equal valued alternatives classes $K_1, \dots, K_i, \dots, K_l$ where alternatives from class K_i are strict preferred the alternatives from classes K_{i+1}, \dots, K_l for each $i = 1, 2, \dots, l-1$.

Let's discuss the method proposed for given ranging problem solution.

First, at any multi criteria making decision problem there is the problem of making generalized criteria. There are many generalized criteria creation methods.

Notice that at many practical problems there isn't reason to suggest that one criterion is more important than other. At the proposed method system analyst must make ranging by (1.2) gradation classes C_1, \dots, C_m with the equal significance. It turned out first goal of research: with the knowledge of classes C_1, \dots, C_m and their order we need to define concept of unified scale and create the method of evaluation of each alternative estimation $i \in X$ on the scale (generalized estimations $\gamma(i)$) based on particular estimations $\gamma^{\xi}(i)$ $\xi = \overline{1, \alpha}$. Second, it's necessary to propose a method of pair comparison for each two alternatives i and j from the set X based on the knowledge of their generalized estimations $\gamma(i)$ and $\gamma(j)$ and determine as a result of the comparison the value r_{ij} of alternative i preference on j .

Making the comparison for all alternatives pares $i, j \in X$ we construct $n \times n$ matrix $R = (r_{ij})$ determining some binary fuzzy relation R over X . The Matrix consists of either the generalized preference of system analyst, either the preference of experts group.

Third, It is necessary to range the objects using the fuzzy relation R . The problem reduces to the approximation of R by fuzzy reversible quasi-series.

Thus, the given method follows. Using information given above we make unified scale, calculate alternatives generalized estimations, based on the estimations we build binary fuzzy preference relation R and than looking for nearest to R reversible quasi-series.

Method's algorithm

Decomposition in Hierarchic Model is made until the level which contains factors with qualitative or quantitative scale of values. To apply the MCDM the construction of every scale reflection to $[0,1]$ is needed. It means that it necessary to create membership function that will convert each value from the scale to the real number from $[0,1]$. The number is interpreted as preference of selected factor value for the main hierarchical goal (factor of the upper level) achievement. "Zero" is interpreted as index of minimum preference than "One" is interpreted as index of maximum preference.

On the basis of relative importance weights it is possible to construct unified scale for the scale gradations of the last level factors. We use the last level factors as the criteria for MCDM. Using MCDM we get the preference coefficient of each alternative, it means the preference coefficients of last level factors value collection.

Conclusion

Fuzzy structured models require a reliable knowledge on the underlying rules of the systems and can not be easily changed in a new situation. Decision making in the field often requires the analysis of large amount of data and complex relations. Very often, it is difficult to the expert to give the exact estimation of some objects of the field or some relations between the objects. In such cases, the analysis of a mathematical model can support rational decision making. The hierarchic structure is one of the most demonstrative models and it can really help the analyst to see all the aspects of the considered problem. The possibility to make the fuzzy elementary estimations gives to the expert the possibility to operate with the natural language concepts.

Bibliography

- [Saathy, Kerns, 1991] T.Saathy, K.Kerns. "Systems organization." - M: Радио и связь. 1991
- [Averkin, Agrafonova, Titova, 2007] A.Averkin, T.Agrafonova, N.Titova. "Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment", EUSFLAT, Ostrava, 2007
- [Averkin, Agrafonova, Titova, 2007] A.Averkin, T.Agrafonova, N.Titova. "A hybrid method, combining hierarchic and cognitive models, for the modeling and simulation of complex systems", ICSCTE-2007, Baku, 2007.
- [Saathy, 1990] T.L.Saathy, "Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarchy Process", RWS Publications, 2nd edition, 1990
- [Makeev, Shahnov, 1989] S.P.Makeev, I.F.Shahnov "Alternatives sequencing on the base of fuzzy estimations." M.: ВЦ АН СССР. 1989.
- [Makeev, Shahnov, 1991] S.P.Makeev, I.F.Shahnov "Objects sequencing in the hierarchical systems" - Известия АН СССР. Технич. кибернет., 1991, N 3, с. 29 – 46

Authors' Information

Tatiana Agrafonova – PhD student, researcher, Dorodnicyn Computing Center of the Russian Academy of Sciences (Department of Applied Intelligent Systems, Artificial Intelligence Problems Division), Vavilov st. 40, 119333 Moscow, Russia, e-mail: Solnishko3@yandex.ru

Nina Titova – PhD, researcher, Dorodnicyn Computing Center of the Russian Academy of Sciences (Department of Applied Intelligent Systems, Artificial Intelligence Problems Division), Vavilov st. 40, 119333 Moscow, Russia, e-mail: titova_nina@inbox.ru

APPLIED ASPECTS OF MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF DYNAMICS OF CHARGED BEAMS

Fedir Garashchenko, Igor Kharchenko

Abstract: The complex of questions connected with the analysis, estimation and structural-parametrical optimization of dynamic system is considered in this article. Connection of such problems with tasks of control by beams of trajectories is emphasized. The special attention is concentrated on the review and analysis of spent scientific researches, the attention is stressed to their constructability and applied directedness. Efficiency of the developed algorithmic and software is demonstrated on the tasks of modeling and optimization of output beam characteristics in linear resonance accelerators.

Keywords: structural-parametrical optimization, dynamic system, linear resonance accelerator.

ACM Classification Keywords: G.1.6 – Optimization – Nonlinear programming.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Introduction

The article covers applied aspects of use undifferentiated optimization algorithms in the tasks of optimal accelerating and focusing system's projecting. The review of methods of analyzing and estimation of calculation processes in dynamic systems as well as the estimates' optimization developed at the complex systems modelling department is in question. The special attention is paid to calculation experiments' specifics in the course of solving optimization problems of initial characteristics of charged particle beams for the waste range of radio engineering devices, namely: high frequencies generators, linear resonance accelerators, tri-electrode lens, electrostatic accelerators, etc. Authors observe unique algorithms and software corresponding to the modern possibilities of computer engineering development.

The scheme of linear accelerator and the dynamic equations for particles

Let us look at Fig.1, for example, to the scheme of linear resonance accelerator (LRA).

Here H – is the injector, DT – drift tube, AG – accelerator gap. Our work is connected with fulfillment of such methods of optimization, stability, sensitivity, which make it possible to define optimal parameters of LRA. And by means of this we may essentially increase efficient coefficient of such device.

The dynamic equations for particles in electromagnet field are in the form:

$$\frac{d}{dt}(m\vec{V}) = Ze\{\vec{E} + [\vec{V} \cdot \vec{B}]\} + \vec{F}_k, \quad (1)$$

where, the vectors of electric \vec{E} and magnetic \vec{B} induction satisfy to Maxwell equations

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}, \quad \text{div } \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad \text{rot } \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{E}}{dt} + \mu_0 \vec{j}, \quad \text{div } \vec{B} = 0. \quad (2)$$

Here \vec{V} – vector of participle velocity, c – velocity of light, ε_0 , μ_0 – some electric and magnetic constants,

\vec{F}_k – Coulomb forces, Z – charge number, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \gamma m_0$ – dynamic mass, m_0 –

rest mass.

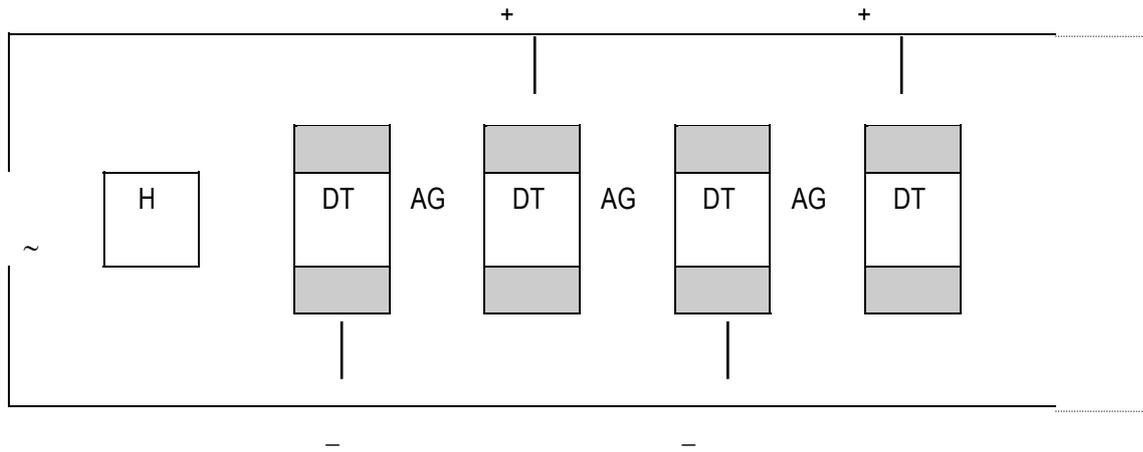


Fig.1.

In axial symmetric case from (1), (2) we may follow such equations:

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma}{d\xi} &= \alpha(\xi) \cos \varphi, \\ \frac{d\varphi}{d\xi} &= \frac{2\pi\gamma}{\sqrt{\gamma^2 - 1}}, \\ \frac{d^2r}{d\xi^2} &= -\frac{\gamma}{\gamma^2 - 1} \left(\frac{1}{2} \frac{d\alpha}{d\xi} r + \alpha \frac{dr}{d\xi} \right) \cos \varphi, \quad \xi \in [0, T], \end{aligned} \quad (3)$$

where $\xi = \frac{z}{\lambda}$, $\alpha(\xi) = ze|\lambda E_z(\xi)|m_0c^2$, T – dimensionless length of LRA, λ – wave length.

Statement of problem

In real cases it is necessary to solve the following tasks:

Problem A. The initial dispersion is prescribed $\gamma(0), \varphi(0) \in M_0$, the constraint on the amplitude of accelerated field is given $\alpha(\xi) \in G_\alpha = \{\alpha(\xi) : 0 \leq \alpha(\xi) \leq C\}$.

It is necessary to solve the optimization problem for longitudinal motion (equations (1), (2) from system (3))

$$\min_{\alpha(\xi) \in G_\alpha} \max_{\gamma(0), \varphi(0) \in M_0} \left\{ A_1(\gamma(T), \gamma(0), \varphi(0)) - \gamma_T^2 + A_2(\varphi(T), \gamma(0), \varphi(0)) - \varphi_T^2 \right\}. \quad (4)$$

Problem B. The limitation is given in such form:

$$\begin{cases} \max_{\gamma(0), \varphi(0)} |\gamma(T) - \gamma_T| \leq \varepsilon_1, \\ \max_{\gamma(0), \varphi(0)} |\varphi(T) - \varphi_T| \leq \varepsilon_2 \end{cases} \quad (5)$$

and

$$x^2(\xi) + y^2(\xi) \leq a^2(\xi) \quad (6)$$

or

$$|r(\xi)| \leq \varepsilon(\xi) \quad (7)$$

in symmetric case, but the set of capture is in process of acceleration for particles under restriction (5)-(7). It is necessary to choose the value of the field so that $m(\alpha(\xi))$ – its measure will be:

$$\max_{\alpha(\xi) \in G_\alpha} m(\alpha(\xi)). \quad (8)$$

The analysis of the problems connected with various accelerating and focusing system optimal designs leads to new mathematical statement in the area of stability and optimization. For example, to compute the particles capture area in accelerating process one needs a numeric algorithm for optimal practical stability area estimation. We mean area optimum as optimum in given structures (sphere, ellipsoid, generalized ellipsoid) as well as maximal on area volume. Thus, one of the important problems of area maximization of particle capture in accelerating mode is just that very practical stability problem in optimizing statement.

On the basis of the stated and proved general theorem the optimal estimations for the analysis of various dynamic systems practical stability are developed [Bublik, 1985], [Garashchenko, 2000]. The criterions have practical directness. They are easy algorithmic and modeled on computer. To calculate the practical stability area maximal on volume, the conception of stability in direction was introduced [Garashchenko, 1988].

The problems of some parametric system practical stability are also investigated. Latter helps us to develop new approaches to the solving of sensitivity problems, guaranteed sensitivity problems and tolerance computation.

The practical stability area optimal estimation is expressed as the maximum a certain function on independent variable, the number of constraints and partially defined initial conditions. That's why the estimate optimization is a non-smooth trajectory optimization problem. The necessary conditions of optimality and contractible algorithms for solving the minimization problem of maximum function on independent variable are adduced in paper.

The developed algorithms and programs were used when designing of heavy ions linear accelerators in Moscow Radio Technical Institute [Garashchenko, 1982, 1985], Institute Theoretical and Experimental Physics (ITEF), in the project of meson factory built in Troitsk city, when building the linear accelerators for medical goals on 3 MEV and 12 MEV in ITEF. We are taking part in the tandem accelerator computing in Nuclear Research Institute of National Academy of Science of Ukraine [Garashchenko, 1994]. The tandem will be supplement by a post-accelerator, according to the project we started to work out.

Optimization problem

Many problems arise when such structures are designed. Let's mark the following:

1. The initial particle M_0 is set. One needs to select the parameter vector α according to the condition :

$$\min_{\alpha \in G_\alpha} \max_{x_0 \in M_0} \Phi(x(T, x_0, \alpha)). \quad (9)$$

2. Let G_0 – is a particle capture area, with the measure $m(G_0) = m(\alpha)$. It is necessary to maximize the capture area :

$$\max_{\alpha \in G_\alpha} m(\alpha). \quad (10)$$

The complexity of such problem solving consists in minimax statement and the function $m(\alpha)$ calculation as well and in general case fields are defined from the corresponding equations in partial derivations.

Algorithmic and software are formed by the principle of mathematical model complication:

- the choice of initial control and optimization longitudinal motion;
- the solving problems of maximum capture or cooperate optimization with account longitudinal and radial structures (homogeneous fields);
- the optimization with account non-homogeneous fields or experimental gates;
- the determination of boundary influence of coulomb forces on optimal regimes and the optimization;
- the determination of parameters tolerances.

Determination 1. The system of n - dimension:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t), t \in [t_0, T] \quad (11)$$

will be called $\{G_0, \Phi_t, t_0, T\}$ - stability if $x(t, x_0) \in \Phi_t, t \in [t_0, T] \quad \forall x_0 \in G_0$.

Let us $G_0 = \{x : W(x) \leq 1\}$, where $W(x)$ – positive determinate function.

Theorem 1. For $\{G_0, \Phi_t, t_0, T\}$ -stability necessary and sufficiently existence of positive determinate function $V(x, t)$ which satisfies conditions:

$$V_t = \{x : V(x, t) \leq 1\} \subset \Phi_t, t \in [t_0, T];$$

$$\frac{dV(x, t)}{dt} \stackrel{(11)}{\leq} 0, x \in V_t, t \in [t_0, T];$$

$$G_0 \subset V_{t_0}.$$

The criteria basing on these theorems permit to estimate as optimal in some structures.

Let us write some model as equation of particle's motion:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, \alpha), \quad \frac{dy}{dt} = A(x, t, \alpha)y, \quad (12)$$

$$y(t) \in \Gamma_t = \{y : |l_s^*(t)y| \leq 1, s = 1, 2, \dots, N\}, \quad (13)$$

where x, y – vectors of longitudinal and radial components $x(t_0) \in D_0$

Theorem 2. For $G_0 = \{y : y^* B y \leq c^2\}$ would be the area of capture of particles in process of acceleration by radial co-ordinates for some $x(t_0) \in D_0$, necessary and sufficiently that

$$c^2 \leq \min_{x_0 \in D_0} \min_{t_0 \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} [l_s^t(t) Q(t, \alpha, x) l_s(t)]^{-1}, \quad (14)$$

$$\frac{dQ}{dt} = A(x, t, \alpha)Q + QA^*(x, t, \alpha), Q(t_0, \alpha, x_0) = B^{-1}. \quad (15)$$

For this case problem 2 may be written in following manner:

$$\min_{\alpha} \min_{x_0 \in D_0} \min_{t_0 \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} l_s^t(t) Q(t, \alpha, x) l_s(t). \quad (16)$$

For solving the trajectory parametric optimization task let us consider two types of problems:

$$\min_{\alpha} \min_{x_0 \in D_0} \Phi(x(T, \alpha, x_0)), \quad (17)$$

$$\min_{\alpha} \min_{x_0 \in D_0} \Phi_1(x(T, \alpha)). \quad (18)$$

The necessary optimal conditions which were written for tasks (17),(18): derivatives under some direction on optimal $\alpha^{(0)}$ – are positive. On the basis of these conditions the necessary conditions are formulated for more complex problem (16).

The iterative procedure on k - step is used:

$$\alpha^{k+1} = P_G(\alpha^{(k)} - \rho_k G(\alpha^{(k)})). \quad (19)$$

Here $G(\alpha^{(k)})$ – sub-gradient of functional by α .

Let us consider the parametric system for elaborated method for establish permits

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t), \quad t \in [t_0, T], \quad x(t_0) \in G_0, \quad \alpha \in G_\alpha. \quad (20)$$

Determination 2. The non-disturbance motion is $x(t, 0) = 0$ declared $\{G_0, G_\alpha, \Phi_t, t_0, T\}$ - stability if $x(t, x, \alpha) \in \Phi_t, \quad t \in [t_0, T], \quad \forall x_0 \in G_0, \quad \alpha \in G_\alpha.$

For (20) the theorems of practical stability by determination 2 are proved and criteria are elaborated.

It makes possible solving problems of counting permits on parameters, projecting systems with restrict ant guaranteed sensibility.

In conclusion let us describe numerical method of construction by volume estimates. The definition of stability by single direction is introduced as classical problems or as for problems of practical stability.

Let us formulate some results for the problem (12),(13).

Determination 3. The set of particles with initial condition:

$$y(t_0) = k_1 l, \quad 0 \leq k_1 \leq k$$

will be called the capture the particles in acceleration process in direction l by radial co-ordinates if

$$y(t, x(t_0)) \in \Phi_t, \quad t \in [t_0, T], \quad \forall y(t_0) = k_1 l, \quad 0 \leq k_1 \leq k, \quad \forall x(t_0) \in D_0.$$

Theorem 3. The necessary and sufficiently conditions are given by correlations:

$$k_{(\alpha, l)} \leq \vec{k}_{(\alpha, l)} = \min_{x_0 \in D_0} \min_{t_0 \in [t_0, T]} \min_{s=1, 2, \dots, N} [l_s^t(t) Y(t, t_0, \alpha, x(t_0)) l_s(t)]^{-1}. \quad (21)$$

Then the maximum of volume set of capture may be written as:

$$G_0^{\max} = \{y : y = k_1 l, \quad 0 \leq k_1 \leq k, \quad \forall l, \quad \|l\| = 1\}. \quad (22)$$

Using such algorithm it is easy to calculate $m(\alpha)$ for problem 2.

It is clear that such approaches may be carried and some tasks of sensitivity, calculation of maximum value set of permits.

These researches are fulfilled in general forms and may be used for solving other applied tasks [Garashchenko, 1993, 1998], for example: the systems with variable structure and explosive co-ordinates, digital-continuous systems and systems of equations in partial derivations.

The decision of concrete applied problems was based on the method of complication of mathematical model and was realized by such scheme:

1. The optimization of longitudinal motion (the structure of accelerator is chosen);
2. The correction of the parameters with regard to radial deviation.
3. The use of practical stability and stability by direction methods for beam estimation.
4. The problems of maximum capture of particles in accelerating process.
5. Taking account of dissimilarity field and experimental data.
6. Taking account of coulomb forces interactions.
7. Determination of parameters admittance of the system (size of drift tubes, errors of potential values in the tubes).

Notice, that we use parameters of previous stage on the next stage. They are the initial for next one on our calculations.

The applied task, which is solved on the basis of developed methodology.

1. The calculation of optimal parameters of the linear accelerators of heavy ions in different variants (for example 7-charged ions of uranium and for protons).
2. The projection of different types of linear accelerators with asymmetric phase variable focusing.
3. The minimization of effective cross-section phase beam volume in the case of longitudinal oscillation of the particles (for accelerator "MEGAN").
4. The calculation of self-consistent distributions.
5. The determination of optimal parameters of electrons grouper.

Conclusion

Despite of certain difficulties connected with contact breach with leading Russian scientific centers, new results permitting to continue developing methods of technical systems' optimization in stated structures were obtained by authors.

New studies in the domain of undifferentiated optimization and practical stability of trajectory beams were used to raise efficiency output and to lower energy consumption at stated intensity of particle beams at linear resonance and electrostatic accelerators. Modern algorithms and software created allows adapt it to the waste class of technical systems. These studies may be applied in tomography, scientific research and production, physics, science of materials, biology, medicine, etc.

Bibliography

- [Bublik, 1985] B.M.Bublik, F.G.Garashchenko and M.F.Kyrichenko. Structural-parametrical optimization and stability of beams dynamics. Naukova Dumka, Kiev, 1985.
- [Garashchenko, 1982] F.G.Garashchenko, V.V.Kushin et al. Optimal regimes of heavy ions acceleration in the linear accelerator with asymmetric variable-phase focusing // Technical Physics, Vol.52, №3, pp.409-592, March 1982.
- [Garashchenko, 1988] F.G.Garashchenko, L.A.Pantaliyenko. The decision of problems of the theory of sensitivity with the help of methods of practical stability // Avtomatika №4, 1988.
- [Garashchenko, 1994] F.G.Garashchenko, I.I.Kharchenko et al. Beam dynamic modeling in electrostatic accelerators, NA of Sciences of Ukraine, Institute for Nuclear Research, KINR 94-18, Kiev, 1994.
- [Garashchenko, 1998] F.G.Garashchenko, O.M.Bashnyakov, V.V.Pichkur. About nondifferential problems of matrix differential equations optimal control // Cybernetics and systems analysis №5, 1998.
- [Garashchenko, 2000] F.G.Garashchenko, O.M.Bashnyakov, V.V.Pichkur. Practical stability and structural optimization of dynamic systems. K., 2000.

Authors' Information

Fedir Garashchenko – Professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Cybernetics, the Head of the Complex Systems Modelling Department, Kyiv, Ukraine, e-mail: garash@unicyb.kiev.ua

Igor Kharchenko – Associate professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Cybernetics, the Complex Systems Modelling Department, Kyiv, Ukraine, e-mail: ihar@unicyb.kiev.ua

REDUCTION MEASUREMENTS FOR CALCULATION IN FUZZY EXPERIMENT SCHEME

Andriy Zavorotnyy, Veda Kasyanyuk

Abstract: The papers is dedicated to the questions of modeling and basing super-resolution measuring-calculating systems in the context of the conception "device + PC = new possibilities". By the authors of the article the new mathematical method of solution of the multi-criteria optimization problems was developed. The method is based on physic-mathematical formalism of reduction of fuzzy disfigured measurements. It is shown, that determinative part is played by mathematical properties of physical models of the object, which is measured, surroundings, measuring components of measuring-calculating systems and theirs cooperation as well as the developed mathematical method of processing and interpretation of measurements problem solution.

Keywords: measurements' interpretation, possibility-theoretical approach, fuzzy errors.

ACM Classification Keywords: I.6 Simulation and Modeling

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Introduction

It is important to answer a question how much the result of design is exact when we deal with mathematical modeling of complex systems. A stochastic approach is most widespread. It is necessary that the observed value should be the result of meaning of independent test values for adequate application of stochastic principles to the complex system design. However, such description in probability terms is unnatural for the unique phenomena.

Methods of possibility theory allow to estimate an event truth with respect to other events and to take into account a subjective expert opinion. For example it is very important for prognostication of the social-economic phenomena, for medical diagnostic tasks, for mathematical modeling of human thinking process and other processes.

Measurement processing under fuzziness conditions based on multi-criteria optimization

The wide range of measuring processes would be modelled by the following equality

$$y = Gu + v, \tag{1}$$

where u is interpreted as a signal sent from the investigated object to an input of some device specified by G operator, v characterizes environment impact on the device output and y is a measurements' result to be processed [2].

In wide enough mathematical terms it is possible to consider that $G : H_1 \rightarrow H_2$ - an linear operator, H_1 and H_2 - Hilbert space (H_2 - finite-dimensional), $u \in H_1$, $y \in H_2$. In regard to the characteristic of environment impact v , till recently only such problem definitions have been considered where it was a random element of H_2 space, and it was expected that some statistical information was known about it (for example the first moment and covariance matrix). But in practice external impacts on measuring process not always would be adequately described by random variables. The lack of statistical information often forces to apply for expert estimations of environment impact which results in noise description by fuzzy values.

That very case will be examined in this paper, i.e. v - a fuzzy element of H_2 space will be considered. Let we know a possibility distribution of the given value specified by an expert $\varphi^v(\cdot) \in L(H_2)$, i.e.

$\varphi^V(\cdot): H_2 \rightarrow L$, where L – scale on $[0;1]$ segment with natural order specified by inequality \leq and two composition rules: addition in the sense of max and multiplication in the sense of min [1]. Let agree on $\varphi^V(\cdot)$ function which is monotone non-increasing relative to an argument norm. On this measurement model the measurements' result y itself becomes a fuzzy element of H_2 space and it's possible to express a joint distribution $\varphi^y(z, u) = \varphi^{y, \mu}(z, u) = \min(\varphi^{y, \mu}(z, u), \varphi^\mu(u))$ by function $\varphi^V(\cdot)$. Since by the data u is an unknown arbitrary element of H_1 space, its distribution of possibilities will be $\varphi^\mu(u) = 1$. Conditional distribution of possibilities $\varphi^{y, \mu}(z, u) = \varphi^V(z - Gu)$, then $\varphi^y(z, u) = \varphi^V(z - Gu)$.

Let consider the problem of interpreting the measurements' results (1) for estimating the output of some given measuring device at signal u . We suppose that this device operation would be described by Hilbert-Shmidt operator $\Pi: H_1 \rightarrow H_3$, where H_3 – Hilbert space. One of known approaches to the problem of interpreting the measurements' results is to find such operator $B: H_2 \rightarrow H_3$ which would permit to interpret By as the exactest version of Πu in a certain sense. Forcing from the right on the equation (1) by B operator and subtracting Πu from both sides we obtain the equation

$$By - \Pi u = (BG - \Pi)u + Bv$$

From this equation follows that By differs from Πu by two components: some artifact $(BG - \Pi)u$ and Bv – noise, which is fuzzy value. Since there is no initial information about u signal, minimization condition on B norm of Hilbert-Shmidt operator discrepancy, i.e. $\|BG - \Pi\|_2 \rightarrow \min_B$ would be one of criterions of Πu optimal estimation as By . Introducing the definition of necessity of fuzzy value estimation by analogy with the definition of estimation mistake necessity correctness [1] the last definition would be offered as another optimality criterion. So the necessity of fuzzy value estimation correctness is

$$C_n(d(z)) = \theta \sup_z \sup_u \min(\varphi^y(z, u), \theta l(\Pi u, d(z))), \quad (2)$$

where $d(z)$ – estimation strategy; $l(\Pi u, d(z))$ – mistake absence possibility accompanying a choice of $d(z)$ as a value of Πu for each value $u \in H_1$ (fuzzy relation of correctness); θ – involution determined in [1] – dual isomorphism from L to \tilde{L} such as $\theta(0) = 1$, $\theta(1) = 0$ and for any $a, b \in [0;1]$ relations $a \leq b$, $\theta(a) \geq \theta(b)$ and $\theta(a) \tilde{\leq} \theta(b)$ are equivalent (here \tilde{L} – scale on $[0;1]$ dual to L with operation of addition in the sense of min, operation of multiplication in the sense of max, and order relationship $\tilde{\leq}$ – opposite to natural). Essentially an integral by necessity from $l(\Pi u, d(z))$ is written in (2). Taking into consideration that $d(z) = Bz$, let direct the integral (2) to maximum by estimation strategy. As a result we obtain the optimality criterion $C_n(d(z)) = \theta \sup_z \sup_u \min(\varphi^y(z, u), \theta l(\Pi u, Bz)) \rightarrow \max_B$. By analogy with [1] for possibility and necessity of an estimation error it is possible to prove that the task $C_n(d(z)) \rightarrow \max_B$ should be reduced

to the tasks $C_n(d(z), z) = \theta \sup_u \min(\varphi^y(z, u), \theta l(\Pi u, Bz)) \rightarrow \max_B$ for every $z \in H_2$. As a result, using properties of involution θ it is possible to write down the task

$$\left\{ \begin{array}{l} \|BG - \Pi\| \rightarrow \min_B \\ \sup_u \min(\varphi^V(z - Gu), \theta l(\Pi u, Bz)) \rightarrow \min_B \end{array} \right. \quad (3)$$

Found from (3) the operator B gives the estimation $\hat{\Pi}u = Bz$ which is optimum in terms of operator discrepancy minimization and estimation correctness necessity maximization. Let's take the possibilities' distribution $\varphi^{Bv}(B(z - Gu))$ of a fuzzy value Bv as fuzzy relation of correctness $l(\hat{\Pi}u, Bz)$. It's possible to express it through $\varphi^v(\cdot)$ as $\varphi^{Bv}(B(z - Gu)) = \max_w \{ \varphi^v(w) | Bw = B(z - Gu) \}$ or $\varphi^{Bv}(B(z - Gu)) = \varphi^v(B^-B(z - Gu))$, where B^- - pseudoinverse to B operator. Put the last expression to (3) and get

$$\begin{cases} \|BG - \hat{\Pi}\| \rightarrow \min_B \\ \sup_u \min(\varphi^v(z - Gu), \theta\varphi^v(B^-B(z - Gu))) \rightarrow \min_B \end{cases} \quad (4)$$

Let's consider separately the first criterion of the task (4). It is easy to show, that it reaches the global minimum on value set

$$B = \Pi G^- + Y(I - GG^-). \quad (5)$$

Here $Y : H_2 \rightarrow H_3$ - any Hilbert-Schmidt operator. At the same time in the second criterion the value $\varphi^v(z - Gu)$ does not depend on B , so for any fixed u and z the value of the $\min(\varphi^v(z - Gu), \theta\varphi^v(B^-B(z - Gu)))$ is as little, as little the norm of argument of $\theta\varphi^v(\cdot)$. Since the argument is given by $B^-B(z - Gu)$ where B^-B - orthogonal projector, the value $\|B^-B(z - Gu)\|$ is as little, as wide the kernel of B . Choosing B in the form of (5) these requirements will be fulfilled if $Y(I - GG^-) = 0$. It follows from the fact that $B = \Pi G^-$ turn into zero any element from orthogonal addition to space of values of the operator G , and if the operator $Y(I - GG^-)$ is not zero at this element, kernel of $\Pi G^- + Y(I - GG^-)$ includes into the kernel of ΠG^- . So we conclude that $B = \Pi G^-$ is pareto-optimum decision of the task (4) because any changes of B leads to increasing either the first or the second criterion. If (5) doesn't include B then the first criterion grows up, or if (5) includes B but B doesn't equal ΠG^- , then the second criterion grows up.

Lets consider the way how to pick the operator B to reduce the second criterion of (4) better than it was at $B = \Pi G^-$. As it was above mentioned the wide the kernel of B is the little the value of the second criterion is. It is obvious that under widening of kernel of the operator B , not $\hat{\Pi}u$ but only it's some projection $P\hat{\Pi}u$ should be restored completely, where $P : H_3 \rightarrow H_3$ - some orthogonal projector. It corresponds to the problem of measurement reduction to the device $\tilde{\Pi}$ which satisfies equations $(I - P)\tilde{\Pi}u = 0$ and $P\tilde{\Pi}u = P\hat{\Pi}u$ for any signal u . As the signal u is a priori unknown lets add another condition to the task (4) and set up task

$$\begin{cases} \|BG - \tilde{\Pi}\|_2 \rightarrow \min_B \\ \sup_u \min(\varphi^v(z - Gu), \theta\varphi^v(B^-B(z - Gu))) \rightarrow \min_B \\ (I - P)\tilde{\Pi} \equiv 0 \end{cases} \quad (6)$$

Much as the above-mentioned method it is simply to solve (6) and show that $B = P\tilde{\Pi}G^- = P\Pi G^-$ is pareto-optimum decision. By the way, the above received decision $B = \Pi G^-$ turns out from the last result by a choice

$P \equiv I$. The other extreme case, at which the second criterion of a task (4) is minimized as much as possible, turns out at $P \equiv 0$. Obviously that at such choice of an orthogonal projector the operator $B \equiv 0$, necessity of an estimation's correctness $C_n = 1$ and the norm of operator discrepancy is equal to $\|\Pi\|_2$. It is necessary to notice that under $B \equiv 0$ we get $R(G) \subseteq N(B)$ and as a result the signal passed through the device G turns into zero. The result doesn't contain any information about the signal Πu , so it's singular. Similarly the choice of an orthogonal projector P so that $\|\Pi G^-\|_2 \geq \|P\Pi G^-\|_2$ results in reduction of restored value dimension of Πu . So the choice of an orthogonal projector P is responsibility of HMD (human who makes decisions).

Thus, the decision of (4) is the set of operators $B = P\Pi G^-$. The norm of operator discrepancy is equal to $\|P\Pi G^- G - \Pi\|_2$ and the estimation's correctness necessity is equal to $C_n(B) = \theta \sup \min_u (\varphi^v(z - Gu), \theta \varphi^v(B^- B w_G(u)))$ taking into account $B z_{G_\perp} = 0$ ($z_{G_\perp} = (I - G G^-)z$). Here $w_G(u) = G G^- z - Gu$.

After solving the task

$$\min(\varphi^v(z - Gu), \theta \varphi^v(B^- B w_G(u))) \rightarrow \sup_u \quad (7)$$

and applying the involution θ to its decision we'll receive the value of estimation correctness necessity. As $z - Gu$ can be decomposed in the sum of orthogonal components $z - Gu = w_{GB^-}(u) + (w_{GB_\perp^-}(u) + z_{G_\perp B_\perp^-})$, where $w_{GB^-}(u) = B^- B w_G(u)$, $w_{GB_\perp^-}(u) = (I - B^- B)w_G(u)$, $z_{G_\perp B_\perp^-} = (I - B^- B)z_{G_\perp} = z_{G_\perp}$, ($B^- B z_{G_\perp} = 0$ by the condition of the operator B construction) then it's possible to choose such u in (7) that $w_{GB_\perp^-}(u) = 0$ and $w_{GB^-}(u)$ remains without changes. Taking into consideration that on arrangement $\varphi^v(\cdot)$ does not monotonously increase by the argument norm, such u should not reduce $\varphi^v(z - Gu)$ and should not affect on $\varphi^v(w_{GB^-}(u))$ in any way. So, is possible to express the task (7) as

$$\min(\varphi^v(w_{GB^-}(u) + z_{G_\perp B_\perp^-}), \theta \varphi^v(w_{GB^-}(u))) \rightarrow \sup_{u \in \Omega}, \quad (8)$$

where $\Omega = \{u \mid w_{GB_\perp^-}(u) = 0\}$.

Since the involution θ is monotonously decreasing function on $[0;1]$ by definition it becomes obvious from the type of the task (8) that its decision won't exceed some number $\alpha = \min_{x \in [0;1]} (x, \theta(x))$ which value depends on

the involution definition. For example, if the involution is $\theta(x) = 1 - x$, $x \in [0;1]$ then $\alpha = 1/2$, or if the

involution is in the form of hyperbola $\theta(x) = \frac{1-x}{2x+1}$, $x \in [0;1]$ then $\alpha = \frac{\sqrt{3}-1}{2}$, etc. If we decide the task

$$\min(\varphi^v(w_{GB^-}(u)), \theta \varphi^v(w_{GB^-}(u))) \rightarrow \sup_{u \in \Omega}$$

instead of the task (8) then its decision would be obviously described by the set of elements from H_1

$$U = \left\{ \tilde{u} \left| \min_{u \in \Omega} \left| \varphi^v(w_{GB^-}(u)) - \alpha \right| \right. \right\}, \quad (9)$$

since the minimum is got out between function $\varphi^v(\cdot)$ and dual to her at the same argument value. Thus for a special case of task (4) if $z_{G_{\perp}B_{\perp}^-} = 0$ we receive estimation correctness necessity's value

$$C_n = \theta \min \left(\varphi^v(w_{GB^-}(\tilde{u})), \theta \varphi^v(w_{GB^-}(\tilde{u})) \right), \tilde{u} \in U. \quad (10)$$

Let's consider possibility of occurrence of such special case. It is guaranteed if $R^{\perp}(G) \cap N(B) = \{0\}$. As mentioned above under constructing B the condition $R^{\perp}(G) \subseteq N(B)$ was obtained it should be concluded that the given special case should be inevitable only at $R^{\perp}(G) = N(G^-) = \{0\}$. The fact that the operator G has an opposite one follows from the last conclusion by the Banach theorem [3]. So if in the equality (1) the operator G is such as $\exists G^{-1}$ then the operator $B = P\Pi G^{-1}$ is the decision of the task (4) and the operator discrepancy norm is $\|BG - \Pi\|_2 = \|(P - I)\Pi\|_2$, and the value of estimation's correctness necessity can be calculated by the formula (10).

Since we implicitly estimated u (let even using estimations' set (9)) we can use a priori distribution $\varphi^v(\cdot)$ to estimate the experiment model consistency. If $\exists u \in U : \varphi^v(z - Gu) > 0$ then it is possible to recognize the experiment model as consistent, and every $u \in U$ as consistent estimation of the input signal u . Otherwise it is necessary to recognize the experiment model as insolvent. Since under the arrangement $\varphi^v(\cdot)$ is monotonously non-increasing function by the argument norm then for definiteness lets choose estimation of input signal as

$$u = \arg \min_{\tilde{u} \in U} \|w_{GB^-}(\tilde{u})\|_2. \quad (11)$$

It is obvious that if $\varphi^v(z - Gu) = 0$ then it is necessary to recognize the experiment model as insolvent, otherwise as solvent.

Lets get back to (8) and consider the case $z_{G_{\perp}B_{\perp}^-} \neq 0$. Its decision depends on a type of $\varphi^v(\cdot)$ in many respects. But it is possible to outline some limitations for required value. First, since in (8) the norm of the first argument of \min (function $\varphi^v(\cdot)$) is greater by $\|z_{G_{\perp}B_{\perp}^-}\|_2$ then $\|w_{GB^-}(u)\|_2$ it is obvious that the value of estimation correctness' necessity is greater then $\theta \min \left(\varphi^v(w_{GB^-}(u)), \theta \varphi^v(w_{GB^-}(u)) \right)$ and less then $\theta \min \left(\varphi^v(w_{GB^-}(u) + z_{G_{\perp}B_{\perp}^-}), \theta \varphi^v(w_{GB^-}(u)) \right)$, where u - estimation (11). Secondly, if there is a nonempty set $\tilde{U} = \left\{ \tilde{u} \left(\|w_{GB^-}(\tilde{u})\|_2 < \|w_{GB^-}(u)\|_2 \right) \& \left(\theta \varphi^v(w_{GB^-}(\tilde{u})) \geq \varphi^v(w_{GB^-}(u) + z_{G_{\perp}B_{\perp}^-}) \right) \right\}$ then the optimum estimation of the input signal belongs to set $\bar{U} = \tilde{U} \cup \{u\}$, otherwise (11) is the optimum estimation of the input signal and $C_n = \theta \min \left(\varphi^v(w_{GB^-}(\hat{u}) + z_{G_{\perp}B_{\perp}^-}), \theta \varphi^v(w_{GB^-}(\hat{u})) \right)$. Thirdly, using the above given definition of an experiment model's consistency it is possible to make its a prior estimation even before construction of the optimum operator B . Since $\|w_{GB^-}(u) + z_{G_{\perp}B_{\perp}^-}\|_2 = \|w_{GB^-}(u)\|_2 + \|z_{G_{\perp}B_{\perp}^-}\|_2$

and $\varphi^V(\cdot)$ is monotonously non-increasing function by the argument norm then it follows from $\varphi^V\left(z_{G_{\perp}B_{\perp}^{-}}\right) = 0$ that $\forall u \in H_1 \varphi^V(z - Gu) = \varphi^V\left(w_{GB^{-}}(u) + z_{G_{\perp}B_{\perp}^{-}}\right) = 0$ and it is necessary to recognize the experiment model as inconsistent. At the same time it's easy to verify $\varphi^V\left(z_{G_{\perp}B_{\perp}^{-}}\right) = 0$ because $R^{\perp}(G) \subseteq N(B)$ should be fulfilled under the construction of B and $\varphi^V\left(z_{G_{\perp}B_{\perp}^{-}}\right) = \varphi^V\left(\left(I - GG^{-}\right)z\right)$ follows from it. The further analysis of estimation correctness necessity value depends in many aspects on a type of function $\varphi^V(\cdot)$ and we shall not consider it in this work.

Conclusion

Analyzing the received results it is possible to say that they correlate to results received for the probabilistic experiment model [4], namely pareto-optimum estimations for the probabilistic experiment model [4] under increase of ignoring degree of statistical information will tend by the norm to the result obtained in this work. But it is necessary to note that the experiment models in probabilistic and possibility cases and the tasks of optimum estimation varies ideologically in spite of formal similarity of the models and vicinity of the received results.

Bibliography

- [1] Pitiev Yu.P The possibility. The elements of theory and applications. URSS 2000. (in Russian)
- [2] Pitiev Yu.P Mathematical methods of experiment interpretation. High school, Moscow, 1989. (in Russian)
- [3] Lusternik L.A., Sobolev V.I. Some elements of functional analyses. Nauka, Moscow , 1965. (in Russian)
- [4] Belov Yu.A., Kasianuk V.S., Mathematical methods and algorithms in tasks of interpretations of non direct measurements. Naukova dumka, Kyiv, 1999. (in Russian)

Authors' Information

Andriy Zavorotnyy – PhD, Researcher; TCIO laboratory, theoretical cybernetics department, faculty of cybernetics, Kyiv National Taras Shevchenko University, Glushkov av. 2, build. 6, Kyiv-03127, Ukraine; e-mail: zalbxod@mail.ru

Veda Kasyanyuk – PhD, Head of Laboratory, TCIO laboratory, theoretical cybernetics department, faculty of cybernetics, Kyiv National Taras Shevchenko University, Glushkov av. 2, build. 6, Kyiv-03127, Ukraine

COMPETENCE-BASED SUPPORT OF INTERACTION BETWEEN BUSINESS NETWORK MEMBERS

Alexander Smirnov, Alexey Kashevnik, Nikolay Shilov

Abstract: *In a complicated business network finding a supplier can be a very time consuming task. The technology of competence management is aimed to support such kind of tasks. The paper presents an approach to support interaction between business network members based on such technologies as competence management and knowledge management. The conceptual models of the context-driven competence management system and production network member competence profile are described. The usage of the competence management system is illustrated via an example from automotive industry.*

Keywords: *competence management, competence profile, knowledge management, business network.*

ACM Classification Keywords: *C.0 Computer Systems Organization - General*

Conference: *The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008*

Introduction: Horizontal (Cluster-Based) Approach to Innovation Development

There are a number of reasons leading to innovation development. First of all, the business environment has changed and become network-centric. In the political environment the role of the structuring leader is moving from independent states to network communities. In the economic environment it moves from industries to network clusters based on distributed cooperation of representatives from different industries. Such clusters are not headed by leading companies, but managed through virtual spaces where knowledge exchange and innovation generation take place. The further uniting of the clusters in the network leads to development of global networks crossing state borders. This is accompanied by the de-sovereignization of the world economy and at the same time its regionalization based on new principles (the regions are not considered as administrative units, but as networked trans-border institutes). In addition, due to the Internet the world economy becomes absolutely transparent and as a result hypercompetitive.

The way production has also changed: the industrial development paradigm has yield to the postindustrial paradigm that has different driving forces and "game rules". Knowledge has become the major production factor; continuous innovation (instead of scale economy) has become the major competitiveness factor; anticipatory growth of investments into human capital (instead of investments into fixed capital) has become the basis of the steady growth; and the innovation speed (i.e. time management instead of territory management) has become a priority in the area of safety.

Hypercompetitiveness has not left any chances to the pursuing industrial development. Three centers of the economical power (USA, EU, Eastern Asia) are still preserving their influence, however the world is quickly dividing into "developed" and "lost": those who has managed to move to the innovation growth and, those who has not.

Another reason is drastically changing growth landmarks. Technologies are changing so fast and the structure of globalized markets is getting so complicated that the government cannot longer identify the optimal investment projects for business (as it used to do during the industrial age in the pursuing countries of Asia and Latin America). Contrary to the widespread idea, the direct encouragement of particular industries and "braking-through" technologies by the government today becomes secondary. The job of the production structure optimization is done by the market itself via competitive interactions and economy clustering. This means that the institutional structure of the economy (and not the structural reforms, targeted production diversification or high-tech volumes as it was considered) plays the major role in the growth of the competitive advantage.

As a result it can be concluded that classic (vertical) industrial policy with its bet on leading industries, production scales and industrial base completion goes to the past. A new industrial policy is needed to shift to the innovation-

based social and economic structure. This policy has to be horizontal, with the government having completely different tasks – stimulation of cooperation and cluster initiatives, assistance in finding partners by companies (especially SMEs), creation of competitive stimulus for network organization. The success of Scandinavian countries shows that competition leadership is achieved by those who use the Triple Helix Model – partnership between government (state), business and science (academia) [Etzkowitz and Leydesdorff, 2000].

Background

Business network is an aggregate of resources of independent companies united on the principle of cooperation within the same information environment and capable to coordinate their activities for production of the final product/service. However, to organize companies into a network the coordination of their activities and “understanding” of one another are required. For this purpose it is necessary to use information technologies that would allow to automate these processes. Knowledge management, context management and competence management are proposed to be applied to solve this task.

Knowledge management is a discipline that provides for an integrated approach to creation, accumulation, organization and usage of information sources and access to them. These resources include structured databases, textual information (e.g., electronic documents) and the most important tacit knowledge and employees' expertise. Currently, ontological models are widely used for knowledge representation. The ontological model is a formalized description of the problem domain.

For intelligent processes supported by information technologies, the context is defined as information that can be used for description of the situation concerning a certain object at the given time. Application of the context management technology to knowledge management systems is necessary since during the interaction between network members the current situation can put some constraints at the interaction (e.g., unavailability of a member, impossibility to perform a task by one of the members at the given time, etc.). In the presented approach the context is described in the form of the ontological model.

Competence is a possibility to perform business processes that are supported by necessary resources, practice and actions, the let the company to offer its products or services. Competence profile management lets the knowledge management system to use the corresponding network members as knowledge sources.

Conceptual Model of the Competence Management System

Depending on the way of the competence management system usage two types of users can be identified: network members and users, who are representatives of the network members (Fig. 1). Within the network the company employees may have different roles. When the user (company representative) is registered in the system he/she is assigned a use profile containing personal, registration, and system information about the user, his/her preferences revealed by the system, feedback of other users, as well as history of the user actions in the system. The user profiles make it possible to specify and complement user requests with necessary information and personalize the knowledge and information flow from the system to the user.

When the network member is registered in the system its competence profile is created. It contains information about the member, the history of its activities in the competence management system, production preferences, feedback concerning the quality of order performance. The competence profile makes it possible to faster and more precisely choose a network member to perform a required operation or to produce/supply required components.

Fig. 1 represents interactions between users and supply chain members. The user representing network member i can make a request to a particular user representing network member j or get information directly from the competence profile of network member j . For example, the user representing member i can find capabilities of member j , as well as feedback concerning meeting quality and time requirements by this member for other users. After that he/she can directly discuss cooperation details with a representative of member j . The direct interaction can be useful for security reasons: a network member may have some confidential information that should not be stored in the shared competence management system, but it can be directly handled to another member.

It is also possible for network member i to send a direct request to network member j (without user intervention). For example, an automated warehouse management system of network member i can request the appropriate

network member (e.g., network member j) to supply required components if the stock at the warehouse is insufficient.

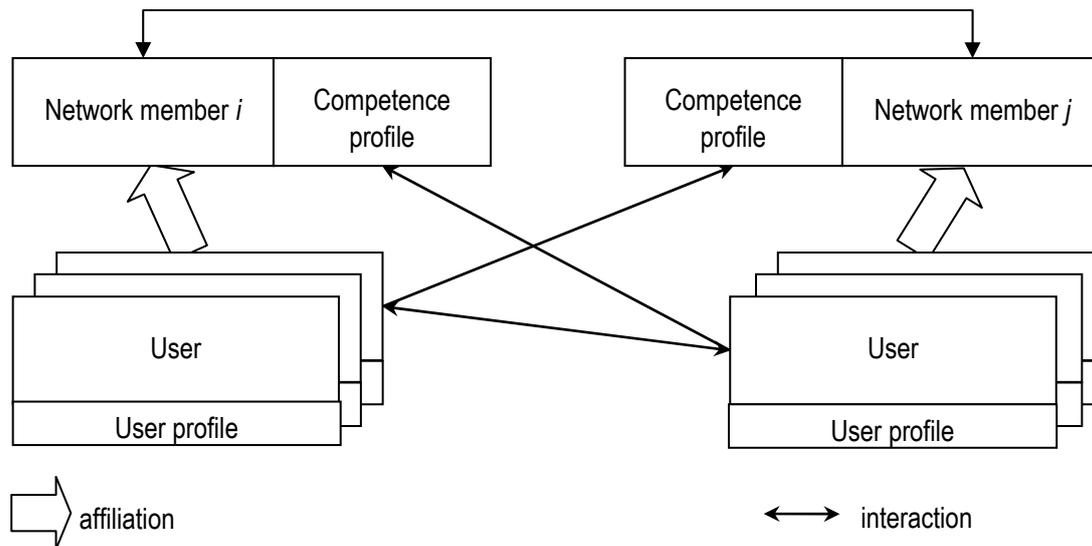


Fig. 1 Interaction between users and network members

The conceptual model of the context-driven competence management system in flexible supply network (Fig. 2) is based on the earlier developed idea of ontology-driven interoperability support [Smirnov et al., 2007]. In accordance with the conceptual model the context-driven competence management system implements the following scenario for coordination support between members of a flexible supply network.

A user (a representative of a supply network member) submits a request to the system (1). Based on this request, available ontological model of the problem domain and the current situation the context is built (2), which is a description of the user request and current situation in terms of the ontological model. The ontological model in the competence management system describes the main terms used for supply network description and relationships between them. Since the terminology used by users may differ from that used in the ontological model it is necessary to map these terminologies to each other. Synonyms can be used for this purpose. The request terms are searched for in the ontological model and found fragments are combined to form the context [Chaudhri et al., 2000].

The knowledge map defines references between the ontological model (3) and knowledge sources (4). This makes it possible to use uncoordinated sources as a single distributed knowledge base. Based on the knowledge map and the formalized user request, the knowledge and information required for answering the user request are acquired from appropriate sources (5). Databases, electronic documents, information systems as well as supply network members can serve as knowledge sources.

If a supply network member serves as knowledge source it provides services for the system to access the owned knowledge. Information about the member is obtained from its competence profile. Based on this information a decision can be made whether this member is suitable for a particular supply network configuration.

The following information from the competence profile is taken into account during the supply network configuration:

- capabilities describe products and services the supply network member can provide;
- capacity and lead time are used by the system to decide if the supply network member can supply required products/services in the given time and quantity;
- price-list is used by the system to reduce costs of the entire supply network;

Besides, the preferences of supply network members are also taken into account. For example:

- order time (a supply network member might prefer long-term or short-term orders);
- order volume (a supply network member might prefer low volume or mass production);
- technology (if a supply network member produces good A it might prefer to produce good B at the same time).

Location of a supply network member is used to define product delivery time, and depending on the current situation (season, precipitations, snow, storms, local holidays, etc.) the supply network member can be inaccessible.

The information from knowledge sources is transferred to the user, with the user profile being used for ranking of the presented results based on their relevance to the user request and preferences.

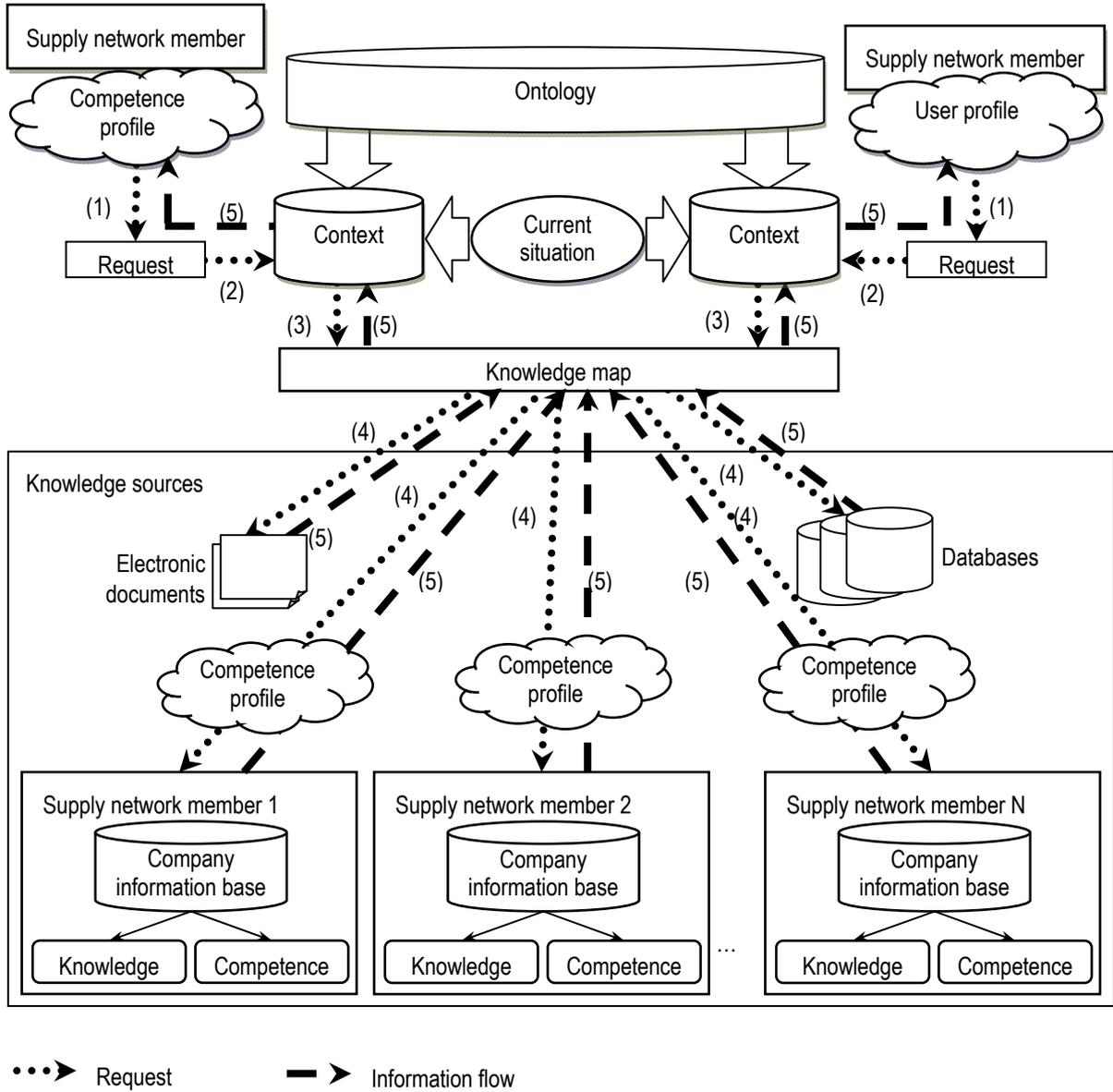
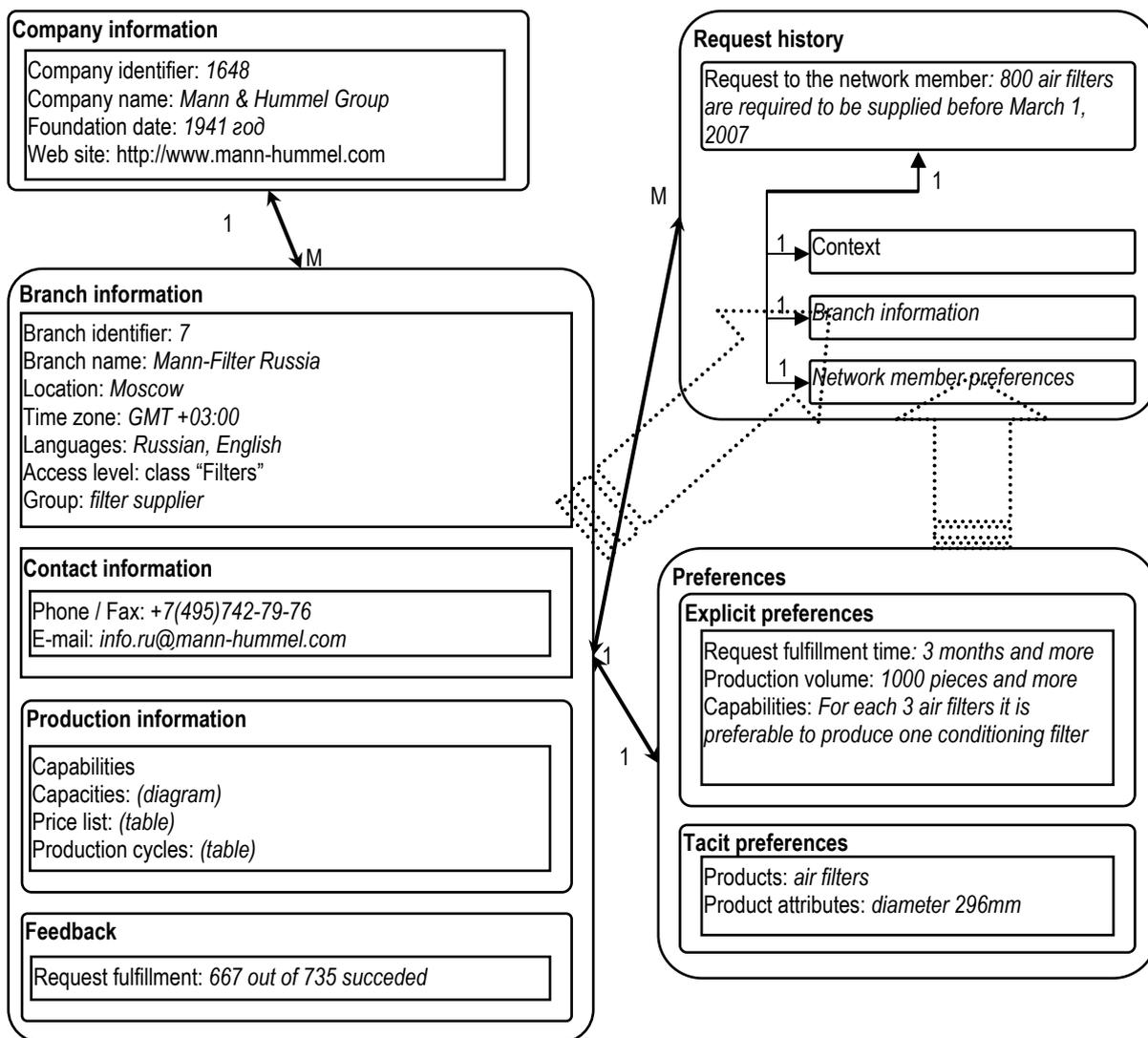


Fig. 2 Conceptual model of the context-driven competence management system in a supply network

Network Member Competence Profile

The competence profile of the network member is presented in Fig. 3. It contains the following categories::

- "Company information" contains general information about the company;
- "Branch information" contains information about a particular branch of the company;
- "Request history" contains the entire history of the branch in the system;
- "Preferences" contains preferences of the network member related to its products/services.



* Attributes "Branch information" and "Preferences" are snapshots of the categories "Branch information" and "Preferences" at the moment of request initialization

Fig. 3 Conceptual model of production network member competence profile

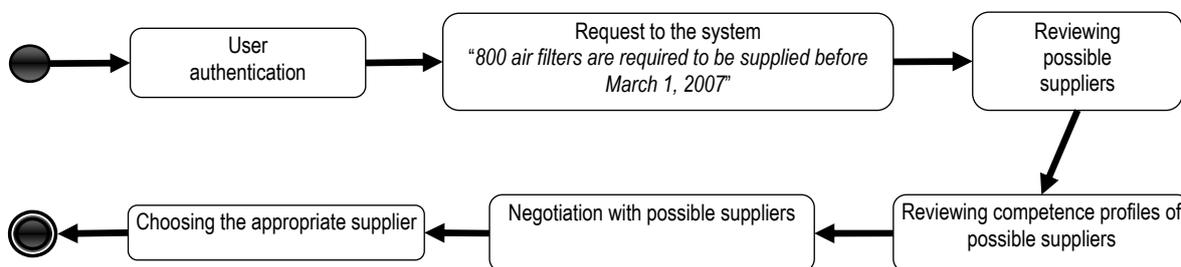


Fig. 4 Competence management system usage example

The FP6 project "Intelligent Logistics for Innovative Product Technologies" (ILIPT) is aimed at developing new methods and technologies to facilitate the implementation of a new manufacturing paradigm for the European automotive industry [Stone et al., 2005]. This new paradigm, "the 5-day car" approaches the building of 'cars to order' in a reduced time scale. ILIPT project addresses the conceptual and practical aspects of delivering cars to

customers just in a few days after placing the order, the automotive industry's exciting and radical new business model [ILIPT].

One of the ILIPT project tasks is to develop a competence management system to support interoperability within the "5-day car" production network. Fig. 4 demonstrates an example of the usage of the competence management system for automotive production network developed at SPIIRAS. The user passes the authentication procedure and formulates a request to the system ("800 air filters are required to be supplied before March 1, 2007"). The system finds appropriate suppliers and suggests them to the user. The user can review the competence profiles of the suppliers and initiate the negotiation process with their representatives. After that the user can decide which supplier is the most appropriate.

Conclusion

The developed model of context-driven competence management system increases the level of coordination between its members due to usage of the ontological model of the network and competence profiles of its members. The competence profile of the network member includes information supplied by the member itself as well as information, revealed by the competence management system based on the behavior of the member. This information from the competence profile can be of high interest for other network members planning cooperation with this member and allows automating some of the processes taking place in the business network.

Acknowledgements

The research described in this paper is supported by grants from following projects: Integrated Project FP6-IST-NMP 507592-2 "Intelligent Logistics for Innovative Product Technologies" sponsored by European Commission; project funded by grants # 06-07-89242 and # 08-07-00264 of the Russian Foundation for Basic Research; projects funded by grants # 16.2.35 of the research program "Mathematical Modelling and Intelligent Systems", and # 1.9 of the research program "Fundamental Basics of Information Technologies and Computer Systems" of the Russian Academy of Sciences (RAS) and project of the scientific program of St.Petersburg Scientific Centre of RAS.

Bibliography

- [Chaudhri et al., 2000] V. K. Chaudhri, J. D. Lowrance, M. E. Stickel, J. F. Thomere, R. J. Wadlinger. Ontology Construction Toolkit. Technical Note Ontology, AI Center. Report. SRI Project No. 1633, 2000.
- [Etzkowitz and Leydesdorff, 2000] H. Etzkowitz, L. Leydesdorff. The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. In: Research Policy, 29, 109-23, 2000.
- [ILIPT], Intelligent Logistics for Innovative Product Technologies, Web-site, 2006, URL: <http://www.ilipt.org>
- [Smirnov et al., 2007] A. Smirnov, T. Levashova, N. Shilov. Semantic-oriented support of interoperability between production information systems. In: International Journal of Product Development, Inderscience Enterprises Ltd., 4(3/4), 225-240, 2007.
- [Stone et al., 2005] G. Stone, J. Miemczyk, R. Esser. Making Build to Order a Reality: The 5-Day Car Initiative. In: Strengthening Competitiveness through Production Networks. A prospective from European ICT research projects in the field of "Enterprise Networking", European Communities, 26-37, 2005.
-

Authors' Information

Alexander Smirnov – Deputy director for research, SIIRAS, 39, 14 line, St. Petersburg, 199178, Russia;
e-mail: smir@iias.spb.su

Alexey Kashevnik – PhD student, SIIRAS, 39, 14 line, St. Petersburg, 199178, Russia;
e-mail: alexey@iias.spb.su

Nikolay Shilov – Senior researcher, SIIRAS, 39, 14 line, St. Petersburg, 199178, Russia;
e-mail: nick@iias.spb.su

AN INFORMATION MODEL FOR PENSION FUND MANAGEMENT

Oleksandra Putyatina

Abstract: *In this paper the issues of Ukrainian new three-level pension system are discussed. First, the paper presents the mathematical model that allows calculating the optimal size of contributions to the non-state pension fund. Next, the non-state pension fund chooses an Asset Management Company. To do so it is proposed to use an approach based on Kohonen networks to classify asset management companies that work in Ukrainian market. Further, when the asset management company is chosen, it receives the pension contributions of the participants of the non-pension fund. Asset Management Company has to invest these contributions profitably. This paper proposes an approach for choosing the most profitable investment project using decision trees. The new pension system has been lawfully ratified only four years ago and is still developing, that is why this paper is very important.*

Keywords: *Information system, Pension System, Non-state pension fund, Assets, Liabilities, Decision Tree, Clustering, Kohonen network, Asset Management Company*

ACM Classification Keywords: *H.1 Models and principles*

Conference: *The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008*

Introduction

Four years ago Ukrainian former pension system was transferred into a new one. The new pension system is three-level like in many countries of Western Europe. One of the most important and underdeveloped parts of the new pension system is non-state pension funds. These pension funds are nowadays not very reliable for employees to save up pensions. This paper has several aims.

The first aim is to develop a new mathematical model that can be applied as a base for an automatic information system that would help the manager of a non-state pension fund make correct decisions, i.e. avoid default and calculate the optimal value of pension contributions. Some work in this direction has already been done by such famous researchers as Merton R. C [Merton R. C., 1974], Black, F., Scholes, M. [Black, F., and Scholes, M., 1973]. But their framework can only be applied to managing state pension funds.

Problems of non-state pension funds and life companies are not fully covered by classical Merton's framework. These companies fund themselves by issuing highly structured form of debt: life insurance and pension policies. The path-dependent [P. Jorgensen, 2005] nature of the policies requires to apply a more elaborate pricing techniques to assess its value similar to a classical Merton's framework.

The new model is based on the following ideas: the asset price of a non state pension fund is a random variable and is most often modelled using Wiener process, because this stochastic process most precisely reflects the random behaviour of financial markets (basic paper [Black, F., and Scholes, M., 1973]). The equation for modelling the behaviour of liabilities of a pension fund is different from what was developed before, because it reflects participation mechanism. In European countries nearly all non state pension funds nowadays apply participation mechanism, and it is natural to assume that soon Ukrainian non-state pension funds will do the same. The partial differential equation for determining the optimal value of pension contributions is derived basing on above assumptions about assets and liabilities behaviour.

The second aim of the paper is to solve the problem of automatic choice of a proper and experienced asset management company among the companies of Ukrainian market. This problem is nowadays crucial for many firms and enterprises that want to take part in creation of the non-state pension funds. But there is very little practical experience in this field because the new pension system is still under development. An asset management company plays a very important role: it invests pension contributions into the industry projects.

Many important financial results depend on the activity on the asset management company and first of all the safety of the pension contributions and the amount of pensions paid. Nowadays in Ukraine there are around two hundred asset management companies. Some of them came from European countries and brought wide experience, the other ones were created in Ukraine. So, which one to choose? Usually the asset management company is chosen empirically that is not very reliable. In this paper it is proposed to optimize and automate the choice of an asset management company by using Kohonen self-organizing maps.

The third goal of the paper is to discuss an approach that would help asset management company invest pension contributions most profitably. Having received pension contributions the non-state pension fund transfers the money to the assets management company. The assets management company invests pension contributions into the industry fields in order to make profit and pay pensions in the future. Decision Trees [4] and Bayesian methods are applied in this paper to develop a strategy that would help the asset management company invest pension contributions profitably, i.e. choose the optimal investment project.

Information System Creation

In order to create the information system for pension fund management it is necessary to solve the following tasks:

- evaluate the amount of pension contributions rationally;
- hedge the pension fund against default;
- choose the asset management company optimally;
- invest pension contributions profitably.

In order to solve the first two tasks it is necessary to find the optimal value of pension contributions and to evaluate a put-to-default option (the instrument that allows to hedge pension fund against default). To derive a pricing equation we assume that the assets W of a non-state pension fund follow geometric Brownian motion (like in Black, Scholes, Merton's framework [Black, F., and Scholes, M., 1973]). Geometric Brownian motion is the most appropriate and widely used model that describes the behaviour of financial markets.

$$\frac{dW}{W} = \mu dt + \sigma dz, \quad (1)$$

where μ is the expected rate of return from the asset price, σ is the volatility of the asset price, t is time, z is Wiener process.

In order to better represent the path-dependent nature of policies issued by non-state pension funds, in this paper we assume that the liabilities V increases at a non-guaranteed rate $\nu = \nu(W/V)$ (unlike Merton's framework), i.e.,

$$\frac{dV}{V} = \nu(W/V) dt. \quad (2)$$

Most forms of liabilities (pension and insurance policies) that pension funds and insurance companies issue include participation mechanism: when the free asset ratio of the fund (W/V) is healthy (110% and above), the fund credits the liabilities with more generous reversionary bonus, than in case of free asset ratio just exceeding 100% mark. In the latter case policyholders are likely to get the contractually guaranteed rate only. When the solvency of the pension fund is compromised significantly, i.e., the free asset ratio is significantly below one the fund may either go into administration or undergo a restructuring plan, when some of its guarantees are taken back. That is why to model the path-dependent liability mechanism it is assumed that the bonus mechanism depends on the free asset ratio of the pension fund only and define the instantaneous bonus rate ν in terms of the function of the free asset ratio, i.e. $\nu = \nu(W/V)$.

Suppose that p is the fair value of pension (life) policy or put-to-default option. The variable p is function of W , V and t . Using Ito's lemma we obtain

$$dp = \left(\frac{\partial p}{\partial W} \mu W + \frac{\partial p}{\partial V} \nu \left(\frac{W}{V} \right) + \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 W^2 \frac{\partial^2 p}{\partial W^2} \right) dt + \frac{\partial p}{\partial W} \sigma W dz.$$

We use the approach as in Black-Scholes framework for setting up a replicating portfolio consisting of -1 derivative security and $\partial p / \partial W$ units of the firm's assets. By such choice we will eliminate the Winner process

and make the portfolio hedged and its return predictable. Thus we can pose the pricing equation for determining p (this corresponds to first two tasks stated above):

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nu \left(\frac{W}{V} \right) V \frac{\partial p}{\partial V} + rW \frac{\partial p}{\partial W} + \frac{1}{2} \sigma^2 W^2 \frac{\partial^2 p}{\partial W^2} - rp = 0, \quad (3)$$

where r is market rate of interest. This equation is derived basing on assumptions (1), (2). As in Black-Scholes framework the resulting partial differential equation (3) contains no stochastic components and is deterministic.

In our case pension fund credits liabilities with a guaranteed rate of interest r_g , if solvency W/V is below a certain level $1 + \beta$ ($\beta > 0$), where β is a parameter, and distributes all the gains to the policyholders when solvency exceeds $1 + \beta$. We obtain a reflecting boundary at point $1 + \beta$ characterized by

$$\frac{\partial p}{\partial V} = 0 \Big|_{W/V=1+\beta}. \quad (4)$$

Similarly, when solvency of the fund falls below a lower threshold $1 - \gamma$ ($\gamma > 0$), where γ is a parameter, the pension fund (life company) may be forced to undergo a restructuring plan by reducing its obligations V . Hence, the lower threshold becomes the reflecting boundary as well

$$\frac{\partial p}{\partial V} = 0 \Big|_{W/V=1-\gamma}. \quad (5)$$

In case of put-to-default option the key boundary condition is

$$p = \max(V - W, 0) \quad \text{when } t=T. \quad (6)$$

In case of pension or insurance policy, it is

$$p = \min(W, V) \quad \text{when } t=T. \quad (7)$$

This problem can be dealt with by means of similarity reduction.

The solution is as follows:

$$u(x, \tau) = e^{B\tau} \int_{-\infty}^{x^+} u_0(z) e^{A(x-z)} G(x - x^+, z - x^+, \tau) dz \quad (8)$$

$$p(W, V, t; T) = Vu(\ln(W/V), \sigma^2(T-t)/2), \quad (9)$$

where A and B are parameters, $u_0(x) = u(x, 0) = \max(1 - e^x, 0)$ for put-option and $u_0(x) = u(x, 0) = 1$ for a policy, $x^+ = \ln(1 + \beta)$, τ is a new time parameter defined by $(T-t)\frac{\sigma^2}{2} = \tau$, new variable x is defined by $x = \ln(W/V)$.

The solution to this equation with the policy boundary condition allows the manager to calculate the optimal value of pension contributions the employee has to pay under a certain pension scheme.

The solution the equation (3) was modeled under different conditions and analyzed.

Using the framework above it is possible to determine the optimal size of pension contributions. Next the pension contributions are passed to an asset management company. The only problem that arises is to cluster the set of all asset management companies into classes "reliable" and "unreliable" i.e. those ones that are able to invest pension contributions profitably and those that are unable. At the same time the "reliable" companies can be also classified using other additional features.

Any asset management company has following features or characteristics: the time of existence, the amount of managed funds, the total value of assets of managed funds, work experience with European enterprises, the average return of the managed funds during last month and so on. That is why very often it is very difficult to choose an asset management company. In our country such decisions are made basing on intuition. In order to make decisions using formal criteria it is necessary to construct an information model that allows to cluster asset management companies basing on their features.

There exists a large amount of clustering methods. The systems of artificial intelligence are becoming more and more popular. Very useful are also expert methods and models. Methods of fuzzy logics are widely used. Regression methods, linear and logistic regression in particular, can also be applied for solving the clustering

problems. And also decision trees are widely used for this kind of tasks. But all these methods have certain disadvantages. For example, methods of expert estimations highly depend on the opinion of a certain expert; in the above stated task intersecting clusters are not considered, that is why methods of fuzzy logics are not applicable; regression methods require some knowledge about the character of mathematical model in advance, but this is not possible in this case; methods of decision trees require lots of additional information, such as probabilities of certain objects belonging to certain clusters.

That is why to solve the problem of clustering of asset management companies it is better to use neural networks. Neural networks are widely used in those parts of financial and investment business where it is necessary to process lots of information quickly in order to get estimates and forecasts. The advantages of neural nets are as follows: the ability to model and forecast non-linear processes; ability to work with noisy data; quick learning and adaptation ability.

In order to cluster asset management companies it is proposed to use Kohonen nets. The most common application of Kohonen nets is the solution of clusterization problem i.e. unsupervised classification.

For the given problem a network with seven input units and twelve output units was chosen. Figure 1 shows the structure of the net.

The experiment published in paper [Путятин А.Е., 2007] showed that it is possible to separate Ukrainian asset management companies into six clusters and these clusters are robust.

When the asset management company is chosen and the pension contributions are passed to it, it is necessary to invest contributions profitably.

The assets management company invests pension contributions into the industry fields in order to make profit and pay pensions in the future. Decision Trees [В.П. Романов, 2003] and Bayesian methods are applied in this paper to develop a strategy that would help the asset management company invest pension contributions profitably, i.e. choose the optimal investment project.

Let us assume that the manager of the asset management company has to make a decision concerning two projects. But in order to make a final decision the manager needs to make an additional expert examination (or several examinations).

Let t_1 and t_2 be two types of expert examination which the manager needs to make for the final decision. The case if manager decides not to make the examination let us define t_0 .

Define the investment projects P_1 and P_2 . The project P_1 requires X_1 to invest in, the expected return is R_1 , as the result the asset management company makes the profit of $p_1 = R_1 - X_1$.

The project P_2 requires X_2 to invest in; the expected return equals R_2 and the expected profit is $p_2 = R_2 - X_2$.

The condition of the investment project is not known for sure, i.e. due to some economic situations, political factors and financial events the investment project may require some additional investments in the future. The expert examination makes the prediction about the future state of the project and, of course, this prediction may be wrong or right with some probabilities. Let us define for simplicity the following: if the investment project requires additional investments then it is in a bad condition (denote $P_{1,2}^{bad}$); if it requires nothing then it is in a good condition (denote $P_{1,2}^{good}$).

The expert examination t_1 checks the state of the first investment project, and the expert examination t_2 checks the state of the second investment project. Define t_1^{good} the result of the first expert examination to consider the first investment project to be good, and t_1^{bad} the result of the first expert examination to consider the project bad. In the same way we can define t_2^{good} and t_2^{bad} .

If the project P_1 is in the bad condition, then the additional amount of money d_1 may be required to invest in the project. As the result the profit from P_1 totals $s_1 = R_1 - X_1 - d_1$.

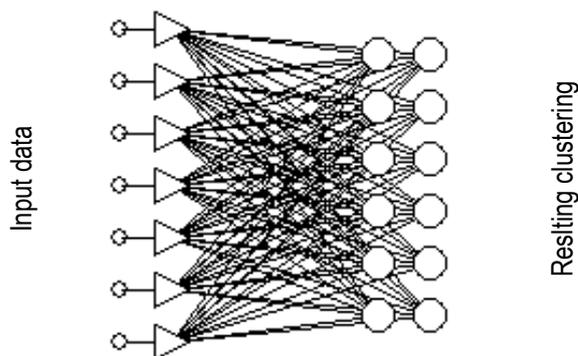


Figure 1. Kohonen network

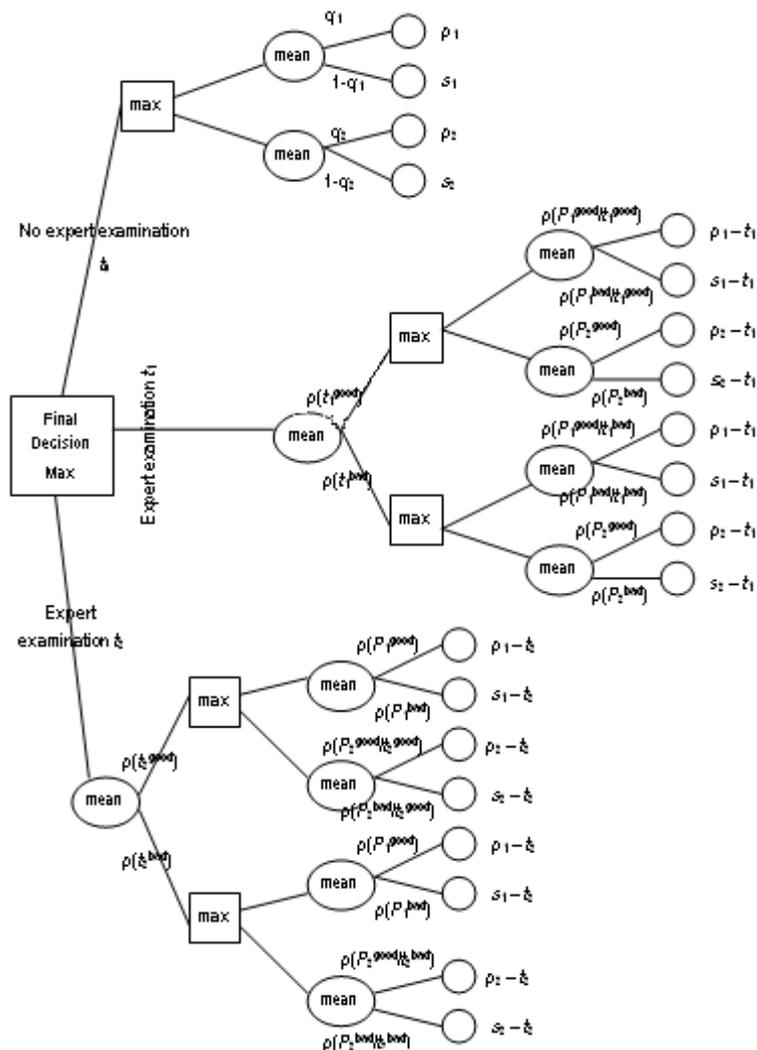


Figure 2. Decision Tree

If the object P_2 is in the bad condition, then additional investment equals d_2 . Thus the assets management company makes the profit equal to $s_2 = R_2 - X_2 - d_2$.

Let us assume that we also know the probabilities of both projects to be in good condition. For the first project this probability equals q_1 , for the second project q_2 .

Let us assume that we know the conditional probabilities for the expert examinations to detect the states of the investment projects correctly. These conditional probabilities can be written in matrix forms. For the first investment project the probability matrix takes the form

$$p(t_1 / P_1) = \begin{vmatrix} p(t_1^{good} / P_1^{good}) & p(t_1^{bad} / P_1^{bad}) \\ p(t_1^{bad} / P_1^{good}) & p(t_1^{good} / P_1^{bad}) \end{vmatrix}.$$

For the second investment project the probability matrix takes the form

$$p(t_2 / P_2) = \begin{vmatrix} p(t_2^{good} / P_2^{good}) & p(t_2^{bad} / P_2^{bad}) \\ p(t_2^{bad} / P_2^{good}) & p(t_2^{good} / P_2^{bad}) \end{vmatrix}.$$

In order to find the optimal strategy (choose the best investment project) it is necessary to calculate the probabilities of every tree branch. It is easy to calculate the probabilities of the t_0 branches (without the expert examination): they equal q_1 and q_2 .

In order to calculate the probabilities of the random nodes along the branch t_1 , we must find out the unconditional probabilities $p(t_1^{\text{good}})$ and $p(t_2^{\text{good}})$, and also the posterior probabilities $p(P_1^{\text{good(bad)}}/t_1^{\text{good(bad)}})$, $p(P_2^{\text{good(bad)}}/t_2^{\text{good(bad)}})$. These probabilities are not given explicitly that is why we use the Bayesian rule [4].

While the expert examination t_1 is applied only to the first investment project P_1 , we can derive $p(P_2^{\text{good(bad)}} / t_1^{\text{good(bad)}}) = p(P_2^{\text{good(bad)}})$. In the same way we can calculate the probabilities of the random nodes along the branch t_2 .

Next it is necessary to make the reverse analysis having chosen the maximal values:

- calculate the mean value for every random node and calculate the maximal profit of every decision node;
- track the branch with maximal profit down from the root in order to find the optimal strategy.

The structure of the decision tree for investment analysis is shown in the Figure 2.

The structure of this decision tree (the amount of branches) is the most widely used structure of decision trees that are used to compare, analyse, and choose market projects or objects in western economy.

Conclusion

In this paper a mathematical model for estimating the far value of pension contributions was reviewed. Then the pension contributions are passed to an asset management company which is chosen among the existing ones using Kohonen networks. Decision trees can be used in order to choose the optimal investment project and to invest pension contributions profitably. The pension contributions are then invested into the chosen project and the return is redistributed to pay pensions.

This entire framework together makes a complete information system for pension fund management.

The future research will consist of applying other methods and techniques and comparing the results.

Bibliography

- [Black, F., and Scholes, M., 1973] "The Pricing of Options and Corporate Liabilities." *Journal of Political Economy* 81 (1973):637.
- [Merton R. C., 1974] On pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates. *Journal of Finance*, 1974, 29: 449-470.
- [P. Jorgensen, 2005], "Lognormal Approximation of Complex Path- dependent Pension Scheme Payoffs" pre-print of University of Aarhus Denmark, 2005, available electronically:<http://skinance.com/Papers/2005/PLJ.pdf>
- [Путятин А.Е., 2007], "Применение сетей Кохонена для кластеризации компаний по управлению активами", Радиоэлектроника и информатика, ХНУРЭ, Украина, accepted.
- [В.П. Романов, 2003], *Интеллектуальные информационные системы в экономике*. – М.: «Экзамен», 2003. – 496 с.

Author's Information

Oleksandra Putyatina – Ph.D. student, Department of Informatics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine; e-mail: putyatin@vk.kh.ua

SYSTEMOLOGICAL BASES OF BUSINESS INTELLIGENCE

Mikhail Bondarenko, Ekaterina Solovyova, Dmitriy Elchaninov

Abstract: Sustainable development support, balanced scorecard development and business process modeling are viewed from the position of systemology. Extensional, intentional and potential properties of a system are considered as necessary to satisfy functional requirements of a meta-system. The correspondence between extensional, intentional and potential properties of a system and sustainable, unsustainable, crisis and catastrophic states of a system is determined. The inaccessibility cause of the system mission is uncovered. The correspondence between extensional, intentional and potential properties of a system and balanced scorecard perspectives is showed. The IDEF0 function modeling method is checked against balanced scorecard perspectives. The correspondence between balanced scorecard perspectives and IDEF0 notations is considered.

Keywords: business intelligence, sustainable development, balanced scorecard, business process modeling, systemology.

ACM Classification Keywords: H. Information Systems - H.1 Models and Principles - H.1.1 Systems and Information Theory - General systems theory.

Conference: The paper is selected from Sixth International Conference on Information Research and Applications – i.Tech 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Introduction

Business intelligence helps commercial enterprises to solve following important problems:

- sustainable development support;
- balanced scorecard development;
- business process modeling.

These problems are closely interrelated. Many academic researchers have advanced the ideas of the sustainable balanced scorecard in publications [Figge et al, 2001]. There are ideas of sustainable business process modeling [Pipero, 2007]. A great deal of theories and principles of sustainability are developed [Scottish Executive, 2006]. In [Bossel, 1999] systems theory is used to identify the vital aspects of sustainable development.

In this paper sustainable development support, balanced scorecard development and business process modeling are viewed from the position of systemology [Melnikov, 1988]. From a point of systemological view a system must satisfy functional requirements of a meta-system (see fig. 1). A system must have corresponding extensional properties to satisfy functional requirements of a meta-system. Intentional properties of a system may be transformed to extensional properties as well as potential properties towards intentional properties.

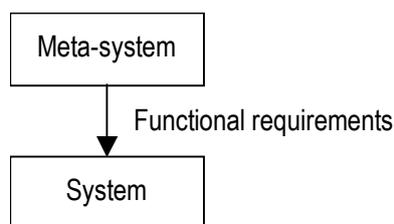


Figure 1: Functional requirements for a system

Systemological Bases of Sustainable Development

A current state of a system is sustainable if extensional properties of the system satisfy functional requirements of a meta-system.

Example 1. Consider a system S. Let:

- $Ext=\{X_1, X_2, X_3\}$ be a set of extensional properties of S;
- $Int=\{X_4, X_5, X_6\}$ be a set of intentional properties of S;
- $Pot=\{X_7, X_8, X_9\}$ be a set of extensional properties of S;
- $St=Ext\cup Int\cup Pot$ be a current state of S.

By F denote a set of functional requirements of a meta-system. If $F\subseteq Ext$ then St is sustainable (see fig. 2, where $F=\{X_1, X_2, X_3\}$).

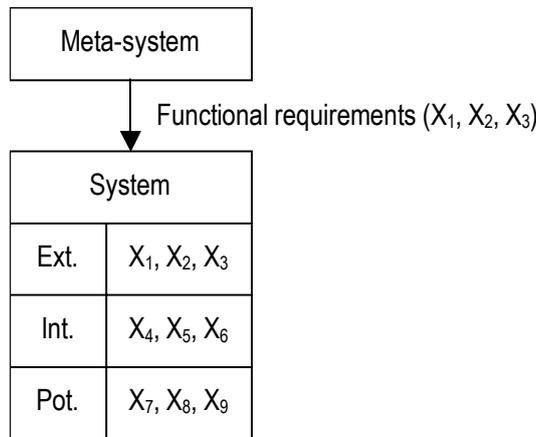


Figure 2: The current sustainable state of the system

If F is transformed from $\{X_1, X_2, X_3\}$ to $\{X_4, X_5, X_6\}$ then S may adapt to new F by transforming $\{X_4, X_5, X_6\}$ from Int to Ext in the following way (see fig. 3):

- $Ext:=(Ext\setminus\{X_1\})\cup\{X_4\}=\{X_4, X_2, X_3\}$ and $Int:=(Int\setminus\{X_4\})\cup\{X_1\}=\{X_1, X_5, X_6\}$;
- $Ext:=(Ext\setminus\{X_2\})\cup\{X_5\}=\{X_4, X_5, X_3\}$ and $Int:=(Int\setminus\{X_5\})\cup\{X_2\}=\{X_1, X_2, X_6\}$;
- $Ext:=(Ext\setminus\{X_3\})\cup\{X_6\}=\{X_4, X_5, X_6\}$ and $Int:=(Int\setminus\{X_6\})\cup\{X_3\}=\{X_1, X_2, X_3\}$.

Now again $F\subseteq Ext$ and new St is sustainable.

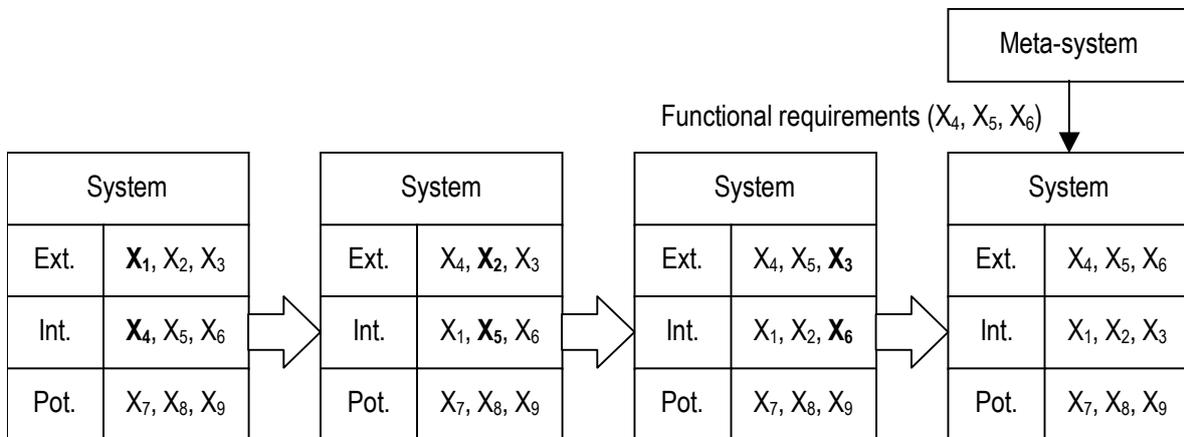


Figure 3: The adaptation of the system

If F is transformed from {X₁, X₂, X₃} to {X₇, X₈, X₉} then S may evolve towards new F by transforming {X₇, X₈, X₉} from Pot to Ext in the following way (see fig. 4):

- Ext:=(Ext\{X₃\})∪{X₆}={X₁, X₂, X₆} and Int:=(Int\{X₆\})∪{X₃}={X₄, X₅, X₃};
- Int:=(Int\{X₄, X₅\})∪{X₇, X₈}={X₇, X₈, X₃} and Pot:=(Pot\{X₇, X₈\})∪{X₄, X₅}={X₄, X₅, X₉};
- Ext:=(Ext\{X₁, X₂\})∪{X₇, X₈}={X₇, X₈, X₆} and Int:=(Int\{X₇, X₈\})∪{X₁, X₂}={X₁, X₂, X₃};
- Int:=(Int\{X₃\})∪{X₉}={X₁, X₂, X₉} and Pot:=(Pot\{X₉\})∪{X₃}={X₄, X₅, X₃};
- Ext:=(Ext\{X₆\})∪{X₉}={X₇, X₈, X₉} and Int:=(Int\{X₉\})∪{X₆}={X₁, X₂, X₆};
- Int:=(Int\{X₁\})∪{X₄}={X₄, X₂, X₆} and Pot:=(Pot\{X₄\})∪{X₁}={X₁, X₅, X₃}.

Now again F⊂Ext and new St is sustainable.

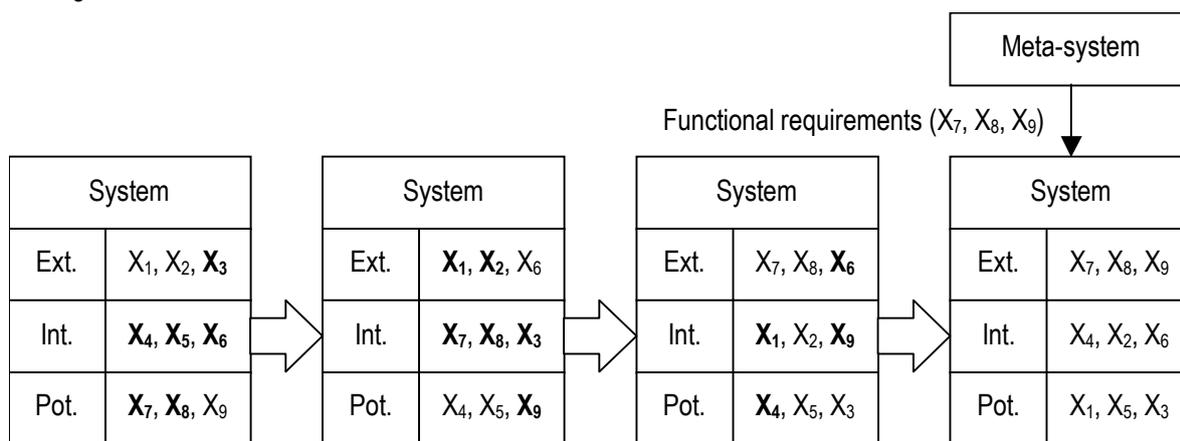


Figure 4: The evolution of the system

Let F be transformed in the following way F₁ → F₂ → F₃. If F₁⊂Ext and F₂⊂Int and F₃⊂Pot then St is strong sustainable. S may both adapt and evolve towards new F. If F₁⊂Ext and F₂⊂Int and F₃⊄Pot then St is weak sustainable. S may adapt to F₂ only.

Let F be transformed in the following way F₁ → F₂. If F₁⊂Ext and F₂⊄Int and F₂⊂Pot then St is weak unsustainable. S may evolve towards F₂. If F₁⊂Ext and F₂⊄Int and F₂⊄Pot then St is strong unsustainable. Any adaptation or evolution is impossible.

If F=F₁ and F₁⊄Ext and F₁⊂Int then St is crisis. Let F be transformed in the following way F₁ → F₂. If F₂⊂Pot then St is weak crisis. S may both adapt and evolve towards new F. If F₂⊄Pot then St is strong crisis. S may adapt to F₁ only.

If F=F₁ and F₁⊄Ext and F₁⊄Int and F₁⊂Pot then St is weak catastrophic. S may evolve towards F₁. If F=F₁ and F₁⊄Ext and F₁⊄Int and F₁⊄Pot then St is strong catastrophic. Any adaptation or evolution is impossible.

The results are showed in table 1, where symbol "1" denotes the presence of corresponding properties, "0" – the absence.

Table 1: The correspondence between properties and states of a system

Properties	States							
	sustainable		unsustainable		crisis		catastrophic	
extensional	1	1	1	1	0	0	0	0
intentional	1	1	0	0	1	1	0	0
potential	1	0	1	0	1	0	1	0

Systemological Bases of Balanced Scorecard

“Mission” is a key concept of balanced scorecard (BSC) [Kaplan and Norton, 1999], [Kaplan and Norton, 2001]. The mission statement describes the organization’s statement of purpose; what it is doing and why. The mission is never accomplished by any organization [Niven, 2002]. Let’s uncover the inaccessibility cause of the system mission.

From a point of systemological view, system mission is meta-system functional requirements.

Consider a system S, a meta-system MS and a meta-meta-system MMS. By X denote a set of functional requirements of MS. By Y denote a set of functional requirements of MMS. X varies depending on Y. Let $X=X_1$ corresponds to $Y=Y_1$. Finally, let S adapts to $X=X_1$.

If $Y=Y_1$ transforms to $Y=Y_2$ then $X=X_1$ transforms to corresponding $X=X_2$. Therefore, now S must adapt to new $X=X_2$ and so on (see fig. 5).

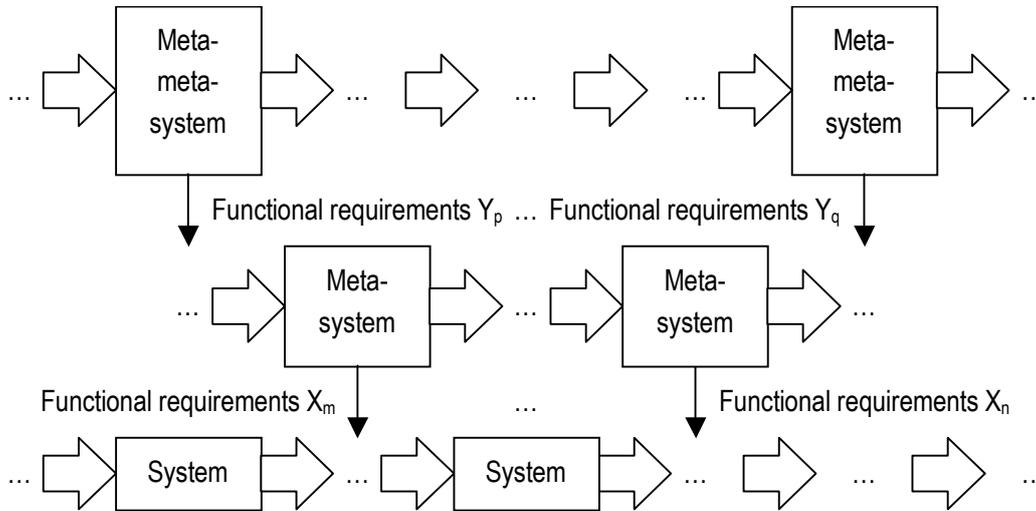


Figure 5: Inaccessible mission of a system

BSC suggests a new performance measurement approach that focuses on corporate strategy in four perspectives.

The financial perspective effects relationships referring to the other BSC perspectives.

The customer perspective represents the customer value proposition through which the business system wants achieve a competitive advantage. Therefore, the customer perspective corresponds to extensional properties of the business system.

The internal process perspective identifies those internal business processes, which enable the business system to meet the expectations of customers. Hence, the internal process perspective corresponds to intentional properties of the business system.

In the learning and growth perspective, the most important area is qualification of employees. And so, the learning and growth perspective corresponds to potential properties of the business system.

Table 2: The correspondence between properties of a system and BSC perspectives

Properties	Perspectives
extensional	customer
intentional	internal process
potential	learning and growth

Balanced Scorecard Bases of Business Modeling

Business process modeling is a critical component of business intelligence because a business strategy is implemented by business processes. IDEF0 activity modeling is a technique for analyzing whole systems as a set of interrelated activities or functions [Methods Guide, 2002]. Let's check the IDEF0 function modeling method against balanced scorecard perspectives.

Outputs are the material or information produced by the activity. Therefore, output arrows correspond to the customer perspective (see fig. 6).

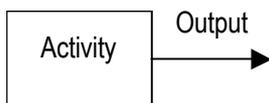


Figure 6: Customer perspective modeling

An activity can be decomposed into its constituent activities. Inputs represent material or information that is consumed or transformed by the activity in order to produce the outputs. Controls govern or regulate how, when, and if an activity is performed and which outputs are produced. Hence, activities, input and control arrows correspond to the internal process perspective (see fig. 7).

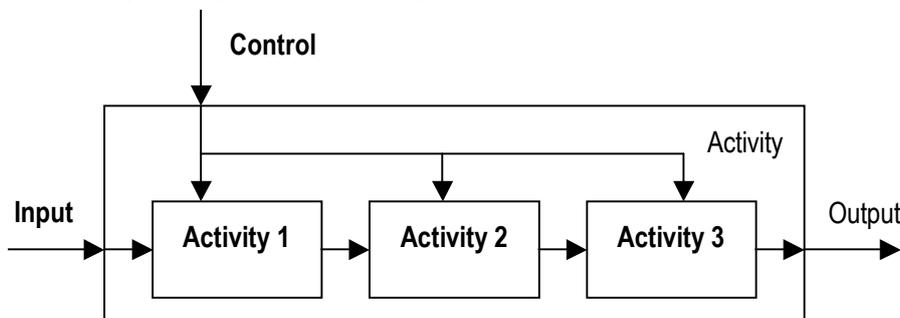


Figure 7: Internal process perspective modeling

Mechanisms are those resources that perform the activity. And so, mechanism arrows correspond to the learning and growth perspective (see fig. 8).

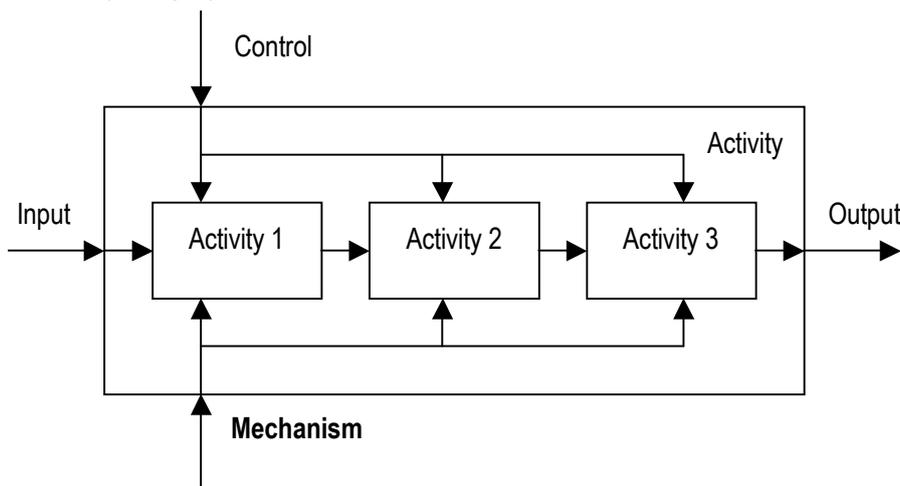


Figure 8: Learning and growth perspective modeling

The correspondence between BSC perspectives and IDEF0 notations is presented in table 3. Using the correspondence between properties of a system and BSC perspectives, one can make the correspondence between properties of a system and IDEF0 notations.

Table 3: The correspondence between BSC perspectives and IDEF0 notations

Perspectives	Notations
customer	output arrow
internal process	activity, input and control arrow
learning and growth	mechanism arrow

Conclusion

Systemology is unified theoretical basis for different aspects of business intelligence: sustainable development support, balanced scorecard development and business process modeling (see resulting table 4).

Table 4: The correspondence between properties, states, perspectives and notations

Notations	Perspectives	Properties	States							
			sustainable		unsustainable		crisis		catastrophic	
output arrow	customer	extensional	1	1	1	1	0	0	0	0
activity, input and control arrow	internal process	intentional	1	1	0	0	1	1	0	0
mechanism arrow	learning and growth	potential	1	0	1	0	1	0	1	0

Bibliography

- [Bossel, 1999] Bossel H. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group. International Institute for Sustainable Development: Winnipeg, Canada, 1999.
- [Figge et al, 2001] Figge F., Hahn T., Schaltegger S., Wagner M. The Sustainability Balanced Scorecard – Translating Strategy into Value-Based Sustainability Management. Conference Proceedings of Business Strategy and the Environment 2001 in Leeds, UK. ERP Environment, 93-102.
- [Kaplan and Norton, 1999] Kaplan R., Norton D. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston, 1999.
- [Kaplan and Norton, 2001] Kaplan R., Norton D. The Strategy Focused Organization. Boston, 2001.
- [Melnikov, 1988] Melnikov G.P. Systemology and Linguistic Aspects of Cybernetics. New York, Paris, Monterey, Tokyo, Melbourne: Gordon and Breach. 1988.
- [Methods Guide, 2002] AllFusion Process Modeler. Methods Guide 4.1. Computer Associates International, Inc., 2002.
- [Niven, 2002] Niven P. Balanced Scorecard Step-by-Step: Maximizing Performance and Maintaining Results. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
- [Pipero, 2007] Pipero C. Sustainable Business Process Management with BPMN, XAML and B2MML. WBF, North American Conference, Baltimore, MD, USA. 30 April - 3 May 2007.
- [Scottish Executive, 2006] Sustainable Development: A Review of International Literature. Edinburgh: Scottish Executive, 2006. <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2006/05/23091323/17>

Authors' Information

Mikhail Bondarenko – Rector, Kharkov National University of Radio Electronics, Lenin Ave., 14, Kharkov, 61166, Ukraine; e-mail: rector@kture.kharkov.ua

Ekaterina Solovyova – Head, Social Informatics Department, Kharkov National University of Radio Electronics, Lenin Ave., 14, Kharkov, 61166, Ukraine; e-mail: si@kture.kharkov.ua

Dmitriy Elchaninov – Assistant Professor, Social Informatics Department, Kharkov National University of Radio Electronics, Lenin Ave., 14, Kharkov, 61166, Ukraine; e-mail: elchaninov@kture.kharkov.ua

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR STRATEGIC MANAGEMENT

Todorka Kovacheva

Abstract: Strategic management is a special kind of managerial activity dealing with long-term development and growth of the enterprise. Therefore it has specific information needs and uses various information technologies different than used in the operational and middle-level management processes. In the current paper we present an information technologies' classification according to the phases of strategic management process and extract these information technologies which are of crucial importance for the successful strategic management.

Keywords: information technologies, strategic management, information technologies classification, strategic management process, strategy development.

ACM Classification Keywords: H. Information Systems - H.0 General, D. Software - D.0 General

Conference: The paper is selected from Sixth International Conference on Information Research and Applications – i.Tech 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Introduction

Strategic management is an ongoing process that assesses the business and the industries in which the company is involved; assesses its competitors and sets goals and strategies to meet all existing and potential competitors; and then reassesses each strategy annually or quarterly [i.e. regularly] to determine how it has been implemented and whether it has succeeded or needs replacement by a new strategy to meet changed circumstances, new technology, new competitors, a new economic environment, or a new social, financial, or political environment [1].

Because strategic management uses the information from all levels in the organization (in different levels of aggregation and abstraction) and from its environment, we can say that every kind of information technology which exists today could be used to support the strategic management activity. But according to its long-term orientation (long-term strategy formulation, implementation and evaluation) strategic managers have different information needs than operational and middle-level managers. To support these specific information needs we can combine and extract various information technologies suitable especially for strategic management and classify them according to the phases of strategic management process.

Classification of Information Technologies for Strategic Management

The information technologies for strategic management could be classified according to the phases of strategic management process which comprises of five phases [2]: organizational objectives, environmental scanning, strategy formulation, strategy implementation and strategic control.

Organizational objectives:

Organizational objectives are the concrete goals which the enterprises wish to realize. They should be measurable so that the enterprise can monitor its progress and make corrections if needed. In this phase of strategic management process the following information technologies could be used:

- Goal management information technologies
- Policy development systems
- Goals conflict detection and resolution systems [3]

Environmental scanning:

Environmental scanning is very important phase of the strategic management process because its results are the base for developing the enterprise strategy and strategy re-engineering. Once the enterprise has specified its objectives, it begins with its current situation and develops a strategic plan to reach these objectives. An environmental scan is performed to identify changes in the external and internal environments and the available opportunities and problems. This process is also known as situation analysis which involves an analysis of both the external and internal environment.

The external environment has two aspects: the macro-environment and micro-environment. Macro-environment affects all enterprises and its analysis is known in scientific literature as PEST Analysis. Micro-environment affects only enterprises from one industry. Its analysis includes problems such as competition in the industry, the activity of competitors, customers, suppliers, products portfolio, innovations in the industry, and etc. The internal environment analysis deals with all aspects inside the organization.

Therefore information technologies and software applications used in environmental scanning must support gathering, processing and analyzing the information about the external and internal situation for the enterprise. In this phase of strategic management process we can use any kind of information technology which can be applied for reducing uncertainty:

- Geographic information systems – they are very suitable to geographic monitoring of customers, suppliers and competitors and for market geo-positioning.
- Systems for detection of important environmental changes and opportunities as well as systems for internal and external environmental analysis.
- Knowledge-based and knowledge management systems which combine the latest achievements in the field of information technologies and have strategic impact over the business development and gaining competitive advantage.
- Information systems for extraction and processing information from various external and internal information sources.
- Patents and know-how discovering and monitoring tools.
- Data mining and other business intelligence technologies.
- Industry trends and innovation predictions technologies.

Strategy formulation:

The strategy is a long-term plan of action designed to achieve particular enterprise goals and is strongly related to the environment changes. When the change in the environment appears the enterprise must respond with adapting its strategy according to the environment changes. Therefore we need information technologies with forecasting features as well as for reducing uncertainty:

- Information technologies which support the strategy generation process.
- Strategy modeling tools – current and ideal state modeling.
- State space analyzing systems.
- Scenario development and evaluation systems.
- Strategy mapping tools.
- Strategy visualization tools.
- Tools for strategic business modeling.
- Strategic forecasting technologies.

Strategy implementation:

Developing the strategy is not enough to achieve results. We need to implement it by translating it into more detailed policies that can be understood at the functional level of the enterprise. At this phase of the strategic management process we can use:

- Strategic plan formulation systems.
- Change management systems.
- Technologies for supporting organizational structure development and re-engineering.
- Team collaboration supporting systems.
- Resources allocation supporting technologies.
- Strategy implementation monitoring tool.

Strategy evaluation and control:

The strategic management is dynamic and continuous process. We constantly need to adapt the developed strategy according to the environmental changes. Therefore we need to monitor the environment and register and evaluate its changes. We also need to measure and evaluate the effectiveness of the developed strategy and apply strategy re-engineering algorithms if needed.

To suit these needs the following systems could be used:

- Business performance measurement systems.
- Strategic control systems.
- Strategy evaluation and re-engineering systems.

Information Technologies of Crucial Importance for Strategic Management

From the information technologies described above we can extract these which are of crucial importance for the strategic management of the enterprise. These technologies are strongly related to the long-term enterprise growth and prosperity, competitive advantages and innovations development. They are based on knowledge and help organizations overcome the competition in the knowledge markets. The theoretical foundation of these markets are established in [4,5,6,7]. By its participation in these markets the enterprise can dramatically increase its competitive power, their impact on global market and generate more incomes by developing innovations and creating knowledge. In the new knowledge-based economy only knowledge-oriented enterprises can take leading positions in the industry. The information technologies which can be used for knowledge management, engineering and implementation are as follows:

- Knowledge management systems
- Ontology generation systems
- Expert systems for different knowledge domains
- Business intelligence systems
- Knowledge map systems
- Innovation support tools
- Competitive intelligence tools
- Knowledge portals and web services
- Knowledge collaboration systems
- Knowledge exchange systems
- Knowledge bases support systems

From all mentioned in the current paper information technologies only these systems can dramatically increase its potential for adaptation to the environmental changes, growth, innovations and new industries development.

Conclusion

The information available for processing and analyzing is constantly and rapidly growing. It is used in all levels in the contemporary enterprises. For its processing different information technologies are developed. This paper introduces the information technologies from strategic management point of view. The classification of information technologies according to their implementation in the phases of the strategic management process is made. The most important from them are strongly related to the enterprise growth and adaptation by supporting the process of innovation and knowledge development and re-engineering.

Bibliography

- [1] Lamb, Robert, Boyden Competitive strategic management, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984
 - [2] Sanjay K. Singh, Hugh J. Watson and Richard T. Watson EIS support for the strategic management process, Decision Support Systems, Volume 33, Issue 1, May 2002, Pages 71-85
 - [3] Kovacheva T., Extended Executive Information System (EEIS), International Journal "Information Theories & Applications" Vol.11, pp.394-400, 2004
 - [4] N. Ivanova, K. Ivanova, K. Markov, A. Danilov, K. Boikatchev. The Open Education Environment on the Threshold of the Global Information Society. IJ ITA, 2001, V.8, No.1 pp.3-12. (Presented at Int. Conf. KDS 2001 Sankt Petersburg, 2001, pp.272-280, in Russian, Presented at Int. Conf. ICT&P 2001, Sofia, pp.193-203)
 - [5] K. Markov, K. Ivanova, I. Mitov, N. Ivanova, A. Danilov, K. Boikatchev. Basic Structure of the Knowledge Market. IJ ITA, 2002, V.9, No.4, pp.123-134 (Presented at Int. Conf. ICT&P, 2002, Primorsko)
 - [6] Markov K., Ivanova K., Mitov I., The Staple commodities of the Knowledge Market, International Journal "Information Theories & Applications", Vol.13, Number 1, pp.11-18, 2006
 - [7] Ivanova K., Ivanova N., Danilov A., Mitov I., Markov K., Basic Interactions between Members of the Knowledge Market, International Journal "Information Theories & Applications" Vol.13, Number 1, pp. 19- 30, 2006
-

Author's Information

Todorka Kovacheva – Gluon Technologies Ltd, Varna, Bulgaria, e-mail: todorka_kovacheva@yahoo.com

METHOD OF ELIMINATION DATA SOURCES CONFLICTS IN INFORMATION SYSTEM

Viktor Levykin, Maksim Evlanov

Abstract: Use of modern object-oriented methods of designing of information systems (IS) both descriptions of interrelations IS and automated with its help business-processes of the enterprises leads to necessity of construction uniform complete IS on the basis of set of local models of such system. As a result of use of such approach there are the contradictions caused by inconsistency of actions of separate developers IS with each other and that is much more important, inconsistency of the points of view of separate users IS. Besides similar contradictions arise while in service IS at the enterprise because of constant change separate business-processes of the enterprise. It is necessary to note also, that now overwhelming majority IS is developed and maintained as set of separate functional modules. Each of such modules can function as independent IS. However the problem of integration of separate functional modules in uniform system can lead to a lot of problems. Among these problems it is possible to specify, for example, presence in modules of functions which are not used by the enterprise to destination, to complexity of information and program integration of modules of various manufacturers, etc. In most cases these contradictions and the reasons, their caused, are consequence of primary representation IS as equilibrium steady system. In work [1] representation IS as dynamic multistable system which is capable to carry out following actions has been considered:

Keywords: information system, dynamic system, information gene, metamodel, data sources conflict, synergetic, conflicts elimination

ACM Classification Keywords: H.3.4 Systems and Software

Conference: The paper is selected from Sixth International Conference on Information Research and Applications – i.Tech 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Introduction

Use of modern object-oriented methods of designing of information systems (IS) both descriptions of interrelations IS and automated with its help business-processes of the enterprises leads to necessity of construction uniform complete IS on the basis of set of local models of such system. As a result of use of such approach there are the contradictions caused by inconsistency of actions of separate developers IS with each other and that is much more important, inconsistency of the points of view of separate users IS. Besides similar contradictions arise while in service IS at the enterprise because of constant change separate business-processes of the enterprise. It is necessary to note also, that now overwhelming majority IS is developed and maintained as set of separate functional modules. Each of such modules can function as independent IS. However the problem of integration of separate functional modules in uniform system can lead to a lot of problems. Among these problems it is possible to specify, for example, presence in modules of functions which are not used by the enterprise to destination, to complexity of information and program integration of modules of various manufacturers, etc. In most cases these contradictions and the reasons, their caused, are consequence of primary representation IS as equilibrium steady system. In work [1] representation IS as dynamic multistable system which is capable to carry out following actions has been considered:

- to perceive the information;
- to remember the information;
- to generate the information.

In addition to the specified properties, IS according to similar representation should: to use the information for achievement of the purpose; processing the information to take from it valuable. Thus it is necessary to note, that

here and in the further it is necessary to understand the term "macroinformation" as the term "information" - initially casual, and then the remembered choice of one or several carried out variants from all set possible and equal in rights [2]. In this connection actual there are problems of development of methodology, methods and models of designing and operation IS in which basis representation IS as dynamic multistable system lies.

Information gene concept

The decision specified above problems demands development of special models which allow to describe IS and business-processes of the enterprises at the general level. As such description authors have offered the concept of an information gene (IG). Under IG the compressed sequence of knowledge (rules) of construction IS as a whole and its separate elements [3] is understood generally ordered and in a strong degree. Inherently IG is metamodel IS - the formalized representation which defines syntax and semantics of concrete realizations IS and its components [4]. Though the term "metamodel" in this treatment has got narrower sense, its essence has remained the same, as in the traditional theory of systems where existence of the metadescription and a metamodel is both necessary and constructive [5]. In the most comprehensible way of the organization of a metamodel realization of some mechanism providing the separate organization of work of the mechanism of a logic conclusion and the mechanism of interpretation of results of a conclusion [6] is represented.

The analysis of the basic approaches to modeling IS has shown, that static models of information structures are local, can display only separate fragments studied IS and change during generation of the new information. For creation and modernization IS as basic it is necessary to consider models of operations which should carry out IS. Such operations, as follows from representation IS in the form of dynamic multistable system, concern to three basic types:

- a subset of new information generation attitudes;
- a subset of information perception attitudes;
- a subset of information storage attitudes.

It is necessary to note, that the operations realizing given subsets, are carried out only above separate elements of models of information structures (attributes) or, accordingly, above separate information structures (clusters information space IS). Therefore in the further such operations we shall name operations of a microlevel.

Defined allows to allocate the uniform alphabet of modeling of operations above the information, saving up all variety of an embodiment of these operations in concrete models IS and its providing complexes.

Realization of laws of composition IS from separate functional modules which consist of clusters set information space IS and the operations of a microlevel certain on these structures, demands allocation of a class of operations which possess following features:

- the given operations are carried out above all or a part of attributes, clusters information space IS and operations of a microlevel of all IS, or the concrete functional module;
the given operations do not depend on a concrete kind of descriptions of attributes, clusters information space IS and operations of a microlevel of all IS, or the concrete functional module;
- the given operations are constant within the limits of all IS, or the concrete functional module.

Such operations in the further we shall name operations of a macrolevel [7]. Then formation of metamodel IS on the basis of the concept of IG will be carried out on the basis of the following interconnected formalized representations:

- the description of separate clusters information space IS;
- the description of operations of a microlevel which reflect interrelations between separate elements clusters information space;
- the description of a subgroup of operations of the macrolevel providing integration separate of clusters information space and microlevel operations, certain on these clusters, in the form of transformations of metamodel IS during which its structure and the maintenance changes;

- the description of a subgroup of operations of a macrolevel in the form of displays of metamodel IS in a metamodel and model of providing complexes IS.

Revealing of conflicts as a result of the analysis of an information gene

Use of the concept of IG allows considering processes of designing IS as synergetic interaction of separate elements of system. Such approach will allow solving a problem of revealing and elimination of the contradictions arising because of ambiguous perception of a subject domain by participants of the project. For revealing these conditions it is offered to present IG as oscillatory system. Thus fluctuations in the given system are generated by performance of operations of generation of the new information and extend in IS as a result of performing reception operations and storages of the information. In such systems without dependence from their nature Fermi-Paste-Ulam (FPU) - the phenomenon of distribution of energy of initial indignation on the maximum harmonics with the subsequent gathering in a spectrum of initial indignation is observed. Especially important property of return FPU has appeared presence of "memory" in its spectrum in relation to entry conditions of its active fashions [8]. With reference to IG supervision of return FPU means, that values of the separate attributes forming clusters information spaces IS, after unitary generating many times are used separately or in the most various combinations, and can be if necessary returned in a condition observed at performance of operation of generation of the new information. Differently, if for studied IG return FPU is observed, it is meant, that with the information, which is entered into corresponding system, can be divided into separate components and subsequently is reproduced without mistakes. Thus process of functioning IS represents sequence of operations on processing the information. In the event that for studied IG return FPU is not observed or observed with distortions, it means, that the same information is duplicated in IS and during distribution is mutually absorbed or deformed. Thus there is an opportunity in advance to reveal areas of information space IS in which conflicts concerning data will be observed.

Model of the conflict of sources of data

Elimination of conflicts of sources of data in this case is reduced to the analysis of a phase portrait of system which is described by expression [2]

$$\begin{cases} \frac{dat_e(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_e} at_e - a_e(at_e) - b_{ei}at_eat_i - a_e(at_e)^2 \\ \frac{dat_i(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_i} at_i - a_i(at_i) - b_{ie}at_iat_e - a_i(at_i)^2 \end{cases}$$

where at_e and at_i - attributes of data, causing conflict; τ_e and τ_i - typical time of value reproduction of attributes at_e and at_i respectively; a_e and a_i - coefficient of process of attributes value generation deceleration of at_e and at_i respectively; b_{ei} and b_{ie} - coefficient of antagonistic influence of attribute values of at_e and at_i respectively.

It should be marked that coefficients b_{ei} and b_{ie} are, as shown in [1], coefficients of antagonistic interaction of attributes at_e and at_i . Physical meaning of coefficient b_{ei} in this case is an estimation of usage in the moment of new information generated values, perceived from attribute at_j , instead of values, perceived from attribute at_e .

So, physical meaning of coefficient b_{ie} is an ability estimation of usage in moment of new information generation values, perceived from attribute at_e , instead of values, perceived from attribute at_j . Physical meaning of coefficient a_e is estimation of possible reception of information, stored in attribute at_e , instead of information, received from attribute at_e . Physical sense of coefficient a_i is estimation of reception information ability, stored in at_j instead of information, received from attribute at_e .

The physical sense of factor τ_e consists in an estimation of relative time of generation of new values of attribute at_e which analogues are not present in aggregate values of attribute at_e . The physical sense of factor τ_i consists in an estimation of relative time of generation of new values of attribute at_i which analogues are not present in aggregate values of attribute at_i .

Proceeding from offered interpretation, it is possible to draw a conclusion, that factors b_{ei} and b_{ie} define a degree of independence of a source of data at work with the macroinformation - the less value of factor b_{ei} for attribute at_e , the it is less probability of that during generation of the new information a source of data will use the another's information from other attribute at_i . The factor a_e in this case defines a degree of novelty of the information generated by a source of data, and, indirectly, a degree of stability IS on the given attribute - the it is less value of the given factor, the above probability of that the generated information will not be perceived from stored values of attribute and. Hence, that above the probability of that after generation of similar information IS will leave an equilibrium condition. The factor τ_e in this case is an estimation of time of generation by a source of data of new value of attribute at_e - the less value of the given factor, the there will be less often new values and, hence, the less probability of output IS from an equilibrium condition.

Results of such analysis allow making such conclusion:

- a) If b_{ei} is equal to b_{ie} , and a_e is equal to a_i , advantage receives attribute with lesser generation time
- b) If τ_e is equal to τ_i , and a_e is equal to a_i , advantage receives attribute, which has lesser value of coefficient b in expression, describing process of value generation for this attribute
- c) If b_{ei} is equal to b_{ie} , and τ_e is equal to τ_i , advantage receives attribute with lesser value of coefficient a in expression, which describes process of value generation for this attribute

Method of conflicts elimination

In such case it becomes possible use a specified below **method of conflicts elimination** for resolving conflicts of data sources, which occurs when there are two or more sources of same data.

Step 1. If it is possible to determine values of all coefficients τ_e , τ_i , a_e , a_i , b_{ei} and b_{ie} , go to Step 9. Else go to step 2.

Step 2. If it isn't possible to determine values of all coefficients τ_e , τ_i , a_e , a_i , b_{ei} and b_{ie} take a decision of lack of data about informational system and propose Developer to gather additional information in process of recurring solution task of selecting customer variant of IS configuration for attributes, involved in situation of plural generation of same information. Else go to step 3.

Step 3. In case of impossibility of determination values of coefficients τ_e , τ_i , b_{ei} and b_{ie} go to step 11. Else go to step 4.

Step 4. In case of impossibility of determination values of coefficients τ_e , τ_i , a_e and a_i go to step 12. Else go to step 5.

Step 5. In case of impossibility of determination values of coefficients b_{ei} , b_{ie} , a_e and a_i go to step 13. Else go to step 6.

Step 6. In case of impossibility of determination values of coefficients τ_e and τ_i take there values equal to $1/2$ and go to step 9. Else go to step 7.

Step 7. In case of impossibility of determination values of coefficients b_{ei} and b_{ie} take there values equal to 1 and go to step 9. Else go to step 8.

Step 8. In case of impossibility of determination values of coefficients a_e and a_i take there values equal to $1/2$ and go to step 9.

Step 9. Count regions of attributes stability using expressions $at_e = 0$, $at_i = \frac{1/\tau_e - a_e - a_e at_e}{b_{ei}}$ (vertical

isoclines) и $at_i = 0$, $at_e = \frac{1/\tau_i - a_i - a_i at_i}{b_{ie}}$ (horizontal isoclines).

Step 10. Compare areas of calculated areas of stability and propose instead of operation of new information generation for attribute, for which area of stability is lesser, perform operation of information reception, generated by attribute, for which area of stability is bigger.

Step 11. Compare values of coefficients a_e and a_i and propose instead of operation of new information generation for attribute, with higher coefficient value, perform operation of information reception, generated by attribute, for which value of attribute is lesser.

Step 12. Compare values of coefficients b_{ei} and b_{ie} and propose instead of operation of information generation for attribute, which has higher value of this coefficient, perform reception of information, generated by attribute with lesser coefficient value.

Step 13. Compare values of coefficients τ_e and τ_i and propose instead of generating new information for attribute with higher coefficient value, perform reception of stored information generated by attribute with lesser value of coefficient.

Conclusion

Developed method could be used on different stages of IS development, beginning from process of creating and analytics requirements for IS, which is created, and its functional structure. Developed method allows to estimate and solve the task of data sources conflicts elimination in process of consulting and business-process reengineering.

Bibliography

1. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации. М.: Едиториал УРСС, 2004. 288с.
2. Information theory in biology. /Ed. by H. Quastler. Urbana: University of Illinois Press, 1953.
3. Левыкин В.М., Евланов М.В. Выявление несоответствий в модели гена информационной системы // Proceedings of the International Conference "e-Management & Business Intelligence", Varna. Sofia: Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA. 2007. P.75-77.
4. Фаулер М., Скотт К. UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования. М.: Мир, 1999. 191 с.
5. Месарович М., Такахага Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 312 с.
6. Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика, или Путь к Миру открытых систем. СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999.
7. Евланов М.В. Использование положений общей теории систем для моделирования процессов разработки информационных систем организационного управления // 2-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2005. Сборник научных трудов. Том III. Межд. конференция «Информационные системы и технологии». Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2005. С.67-70.
8. Горяев П.П. Волновой геном. М.: Общественная польза, 1994. 280 с.

Authors' Information

Viktor Levykin – Head of Information Control Systems (ICS) chair, Kharkiv National University of Radio Electronics, Lenin av. 14, Kharkiv, 61166, Ukraine; e-mail: lyc@kture.kharkov.ua

Maksim Evlanov – Information Control Systems (ICS) chair, Lenin av. 14, Kharkiv, 61166, Ukraine; e-mail: evlanov_max@mail.ru

SITUATIONAL SCRIPT MANAGEMENT OF BUSINESS PROCESSES WITH CHANGEABLE STRUCTURE

Sergey Chaliy, Oksana Chala

Abstract: *In the presented work the problem of management business-processes with changeable structure is considered and situational based approach to its decision is offered. The approach is based on situational model of management business-process according to which process is represented as a set of situations. The script defining necessary actions is connected with each situation. Management of process is carried out by means of the rules formalizing functional requirements to processes.*

Keywords: *business-process, situational management, rules, procedures, roles*

ACM Classification Keywords: *H.1.0 General*

Conference: *The paper is selected from Sixth International Conference on Information Research and Applications – i.Tech 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008*

Introduction

The present stage of business process operation is characterized by necessity of flexible business-processes management, focused on the user and changing on the basis of awareness the functions of the enterprise. It assumes carrying out of reorganization of such processes during their functioning. At the same time most often used to methodology of structural and object-oriented designing are directed on construction of preliminary specified models business-processes which updating during functioning processes is connected with a number of difficulties. Thus, the problem of management flexible business-processes with changeable structure (BPCS) to provide their reorganization according to external influences and evolution of the purposes of the enterprise is actual. The decision of the specified problem demands construction of corresponding models and methods of management business-processes with changeable structure. The given work is devoted to construction situational script models of management such business-processes.

Features of business-processes with changeable structure

Business-processes with changeable structure are characterized by change of time parameters and sequences of a part process of procedures during its functioning, distribution of processes between divisions of the enterprise, a significant degree of parallelism, presence of time, financial, material restrictions. At functioning BPCS under influence of uncontrollable external indignations the condition of data of process changes. Change a condition of BPCS data leads to change of process structure as realization of the last is defined both on the basis of the traditional process approach, and on the basis of current data [Chaliy, 2006].

Problem statement

Initial data for realization situational script management of BPCS are: the business-corrected, defining the order and restrictions of functioning of processes at the enterprise; the multi-component representation business-process including levels of rule [Gottesdiener, 2002], procedures, the objects given; logic representation of sequence of realization of procedures business-process. According to the offered approach, at automated management BPCS it is required to provide a finding of a rational route of realization business-process which at occurrence of external indignations allows to reach the set parameters of productivity proceeding from a current condition of process. Thus under productivity, according to ISO series 9000, we shall understand a degree of achievement of the planned results.

Productivity $Rz(BP_i)$ of business-process BP_i is defined on the basis of productivity criteria convolution:

$$Rz(BP_i) = \sum_{m=1}^M \lambda_m Kr_{im}, \quad \sum_{m=1}^M \lambda_m = 1,$$

where Kr_{im} – m - productivity criteria BP_i , $m = \overline{1, M}$.

The productivity criteria, according to requirements ISO of a series 9000 is defined as follows:

$$Kr_{im} = \frac{pk_{im}^{fact}}{pk_{im}^{plan}},$$

where pk_{im}^{fact} , pk_{im}^{plan} – m - actual and scheduled parameters.

Let's note, that parameters business-process, according to features of the process approach to management, are subdivided into three groups: parameters actually process, parameters of production, a degree satisfaction of the consumer.

On the basis of considered above characteristics BPCS we shall formulate requirements to situational script representation of business-processes:

- representation business-process in the form of a set of situations;
- use of the contextual information for operative decision-making;
- decision-making on the basis of the knowledge expressed in the form of rules;
- division of duties and powers of executors.

According to the given requirements a route of realization business-process consists of sequence of situations St_l , each of which is characterized by a subset of the data reflecting a current condition business-process, and also the script of actions in the given condition. The script reflects sequence of performance business-procedures Br . Realization of procedures is carried out by executors on the basis of roles Rl . Thus for each process exists initial and final situations St_{begin} , St_{end} .

Formally general statement of a problem consists in a finding during each moment of time t display Ψ_t , connecting current St_l and final St_{end} BPCS situations in conditions of unforeseen external influences Φ_t on the basis of business-rules Bpr :

$$\begin{aligned} \Psi_t^{BPS} : St_l &\xrightarrow[Bpr, \Phi_t, t]{} St_{end} \\ \text{with limits } BPS_i, Rz(BPS_i) - 1 &\leq \Delta, \\ kf_i &\geq kf_i^{plan}, kf_i \in Kf, \end{aligned}$$

where BPS_i - description i - business-process, represented a set of admissible situation St_l , $l = \overline{1, L}$, $St_{begin}, St_{end} \in BPS$; $Rz(BPS)$ - BPCS productivity; Δ - maximum deviation of productivity from the scheduled value equal 1; Kf - set of critical factors of the success defining areas of steady BPCS functioning.

Each of situations BPS_i corresponds traditional business-process and is described on the basis of multi-component model of process. Management of situations at a level of process as a whole is carried out by means of rules. Operating influences within the limits of a situation are implemented by means of the business-corrected, used for updating the script of performance of procedures. Thus, the offered approach provides management business-process with changeable structure at two levels - a level of process as a whole and a level of a situation. Management at level BPCS is directed on achievement of an end result and carried out by means of the rules reflecting expert experience, and also functional requirements to processes. Management at a level of situations is directed on minimization of expenses at achievement of the set parameter of productivity.

Situational script model of management business-process

In conformity with the formulated requirements, combines advantages of the approaches which are based data and approaches, based processes and it is focused on construction of models business-processes with changeable structure on the basis of knowledge of a subject domain. According to the considered statement of a problem of automated management business-processes and according to the approach offered situational script problem of automated management BPCS in conditions of uncontrollable external indignations consists in a finding of the rational route consisting of sequence of situations business-process which at occurrence of external indignations allows to reach the set parameters of productivity proceeding from current condition BPCS. Thus the choice of a route is carried out by means of corresponding business-rules on the basis of the data reflecting influence of external uncontrollable influences [Levykin, Chaliy, 2004]. Unlike traditional approaches to construction of models business-processes, situational script model operates not simply with sequence of procedures of process, and the situations arising during its realization. Examples of such situations are: results of acceptance of an experimental batch of the goods the customer, change of the constructive sizes of a product on demand of the customer during manufacture, necessity of replacement of materials or accessories because of absence of the necessary party at suppliers, etc. For processing a concrete situation should be executed business-procedure Br_j , which represent logic units of work which are distinguished by executors as a unit (for example, filling of the electronic form).

Let's note, that Br_j is considered as a uniform indivisible part of work which can be either executed completely, or not executed. Business-procedure is implemented by one worker.

Management of a situation business-process at the considered approach consists in the following. External influences during the moment of time t , and also realization of procedures Br_j change a condition of data of a situation. The changed condition of data leads to performance of business-rules Bpr_i , according to a principle of dynamic reengineering changing the script of performance of procedures Br_j to receive preset values of parameters business-process.

We shall more detailed consider offered situational script model. In a basis of the given model the concept of a situation lays.

Definition 1. The situation St represents the object, described the data sets, describing condition BPCS, conditions of occurrence of a situation, a set connected with a situation business-procedures, the script of performance specified business-procedures, and also set of roles of executors business-procedures. Elements of structure of data of a situation are the logic variables describing presence of those or other given results, necessary for performance connected with this situation business-procedures in conformity with the script of a situation. Formally the situation is characterized by a following cortège:

$$St = \langle C, Br, Bpr, R, Sc, D, E, Rl \rangle ,$$

where $C = \{c_i\}$ – set of initial conditions of occurrence of a situation; $Br = \{Br_i\}$, $i = \overline{1, I}$ – set of business procedures;

Bpr – business rules set; R – set of communications between elements of a situation; Sc – situation script; D – set of situation data; Bpr – business rules set; E – set of the interface elements reflecting a condition of elements of data in model at BPCS realization; Rl – set of executors roles.

Realization of all necessary actions business-process at occurrence of a situation is carried out by means of business-procedures Br_i . The script of performance Sc connected with a situation is based on set of the attitudes R , reflecting connections between procedures R_{Br} , procedures and data R_{IN}, R_{OUT} , procedures and roles R_{Rl} , и executors and divisions of the enterprise R_{OS}, R_{PD} :

$$R = (R_{Br}, R_{IN}, R_{OUT}, R_{ADD}, R_{RI}, R_{OS}, R_{PD}).$$

Definition 2. The script of a situation represents a set of the ordered sequences of procedures, relationships of cause and effect between which are set on the basis of patterns of interaction of elements business-process, and also business - rules:

$$Sc = \{(Br_i \text{ before } Br_j) \vee (Br_i \text{ next } Br_j)\},$$

$$Br_i = \{Br_i\}, Br_j = \{Br_j\}, i, j = \overline{1, N},$$

where Pt – typical patterns of BPCS fragments; $Br_i \text{ before } Br_j$, $Br_i \text{ next } Br_j$ – accordingly attitudes preceding and followings between procedures Br_i , Br_j .

Each situation generally can be simple or compound. The simple situation, as it has been shown above, is characterized by the script which can be executed in the given situation, and a corresponding data set. The compound situation St^{compl} contains references to the description of other situations entering into it (both simple, and compound) and, thus, characterizes hierarchy of situations and procedures.

The offered hierarchy of situations is able to solve a problem of discrepancy between vertically-focused functional structure and the horizontal description of the enterprise in the form of set of cooperating processes. Really, the hierarchy of situations allows displaying functional hierarchy at the enterprise. At the same time, each situation, both simple, and compound, is BPCS element. The interrelation between BP situations and divisions of the enterprise is implemented through the mechanism of roles. Realization of the script of a situation in the developed model is carried out by means of the mechanism of plural roles. We shall note, that the mechanism of roles in the given model allows considering occurrence of supernumerary conditions of process to similarly normal BPCS functioning. Accordingly, the description and processing of supernumerary conditions is carried out by regular means. Roles RI in model are connected to procedures according to relation R_{RI} and allows to group executors, implementing Br_j :

$$R_{RI} \subseteq RI \times Br, R_{RI} = \{R_{RI}^i\} = \{(RI^i, Br_j)\}, Br_j \in Br, j = \overline{1, J},$$

where RI^i – i -role for business procedure Br_j .

Thus, the same i -role can mean various executors. For example, a role "the head of a department" can mean various heads depending on process and business-procedure. It is obvious, that one executor can play various roles and one role can be implemented by various executors. The offered concept of roles enables to implement the communication presented to models between business-processes and organizational structure of the enterprise on the basis of the attitude R_{OS} connecting business-procedure and executors:

$$R_{OS} \subseteq Br \times RI \times Isp, R_{OS} = \{R_{OS}^i\} = \{(Br_j, RI^i, Isp_i)\},$$

$$Br_j \in Br, RI^i \in RI, Isp_i \in Isp, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}.$$

where Isp - set of executors business-processes in the organization.

In turn, business-procedure can be a part of the situation, a situation a part of BPCS structure, and executors can be grouped on divisions Pd_n according with the list of staff.

Start of every business-procedure of the script Br_j n model is implemented on the basis of the typical rules developed by the author $Run(Br_j)$ at performance of following conditions:

- all procedures Br_i , connected with current attitude $before(Br_j)$ are completed;
- all input data D_{IN_j} , for procedure Br_j launch are received;

According to the stated representation of a situation, situational script model BPS of management business-processes with changeable structure is represented in the form of a set of the simple St and compound St^{compl} situations arising at its performance in this or that sequence, and also a rule of start of situations $Run(St)$:

$$BPS = (\{St^{compl}\}, \{St\}, Run(St))$$

BPCS implementation within the limits of the presented model corresponds to the considered statement of a problem and it is represented in the form of sequence of the situations reflecting a rational route on the column business-process:

$$(St_1^{compl}, \dots, St_i^{compl}, St_j^{compl}, St_1, \dots, St_l, \dots, St_L)$$

Thus, the situation at the offered approach to management business-process reflects a condition of process to similarly traditional models. At the same time the description of a situation differs from existing BP models as the condition of the structure describing a situation, does not depend from executed at realization of process of sequence of actions, and is defined only by presence or absence of corresponding data. Differently, the sequence of BPCS procedures is defined on the basis of the received data unlike existing models business-processes in which the sequence of procedures is primary. In view of the considered features of the description business-process we shall generalize definition of BPCS class.

Definition 3. BPCS represents expansion traditional the business-process, specified in the form of rigidly set sequence of procedures and. It is characterized by purposeful management of structure of process during its performance by means of the rules expressing functional requirements and on the basis of data, describing a condition of process. These data change as a result of functioning process, and also external revolting influences.

Conclusion

The offered approach to management business-processes is based on situational script model in which BPCS it is presented by set of situations. Each of situations characterizes a typical condition of process and contains the script of carried out actions in the given condition, and also the list of corresponding executors. Management at BPCS level is directed on achievement of the set purposes of process and carried out by means of the rules reflecting corresponding functional requirements. The presented model provides an opportunity of dynamic reorganization business-process by means of the mechanism of roles of executors according to situations which arise at realization of process.

Bibliography

1. [Chaliy, 2006] S.F.Chaliy *Development of technology of management weekly structured business-processes. Management Information System and Devices. All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2006, No.135, pp.63-71.(in Russian)*
2. [Gottesdiener, 2002] E.Gottesdiener *Requirements by Collaboration: Workshops for Defining Needs. Addison-Wesley, 2002.*
3. [Levykin, Chaliy, 2004] V.M.Levykin, S.F.Chaliy *Business rules as base requirements to business model of organization. Artificial intelligence.Donetsk, Ukraine, 2004, No.4., pp. 386-390. (in Russian)*

Authors' Information

Sergey Chaliy – Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor, Information Control Systems (ICS) Chair; Lenin av., 14, Kharkiv, UKRAINE, 61166; e-mail: chaliy@datasvit.net

Oksana Chala - UkrGAJT, senior mentor of faculty of the account and audit; Feyerbah square, 7, Kharkiv, UKRAINE, 61050; e-mail: chala@datasvit.net

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ

Альберт Воронин

Аннотация. При векторном подходе задача принятия решений посредством декомпозиции свойств альтернатив представляется иерархической системой критериев. Возникает проблема обратного перехода к оценке и сравнению альтернатив в целом. Эта проблема предполагает решение задачи композиции критериев по уровням иерархии. Задача решается методом вложенных скалярных сверток.

Ключевые слова: многокритериальный выбор альтернатив, иерархические системы, декомпозиция и композиция критериев, вложенные скалярные свертки, принятие решений.

ACM Classification Keywords: H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Содержание проблемы

В достаточно общем виде [1] задача принятия решений может быть представлена схемой $\{\{x\}, Y\} \rightarrow x^*$, где $\{x\}$ – множество объектов (альтернатив); Y – функция выбора (правило, устанавливающее предпочтительность на множестве альтернатив); x^* – выбранные альтернативы (одна или более). Если в процессе решения предпринимается целостный подход, то механизм выбора отражается непосредственным использованием функции Y . При этом осуществляется оценка объекта в целом, и альтернатива выбирается по непосредственному сравнению объектов как гешталтов (целостных образов объектов без детализации свойств). Для лица, принимающего решение (ЛПР) в этом случае функция выбора Y при сравнении альтернатив означает «нравится» или «не нравится». Сложнее обстоит дело, если возникает вопрос, почему нравится (или не нравится).

В теории принятия решений более распространен так называемый векторный подход, при котором объект оценивается не в целом, а по результатам сравнения отдельных его свойств. В отличие от откровенно субъективного целостного подхода, здесь намечается возможность формализации процесса принятия решений.

Механизм векторного подхода требует при выделении свойств альтернатив осуществить декомпозицию (разложение) функции Y на совокупность (вектор) функций выбора u . Под декомпозицией функции выбора Y понимается [2] ее эквивалентное представление посредством определенной совокупности других функций выбора, u , композицией которых является исходная функция выбора Y . Выделение свойств альтернатив является декомпозицией, приводящей к иерархической структуре свойств. Свойства первого иерархического уровня могут подразделяться на наборы следующих конкретных свойств и т.д. Глубина деления определяется стремлением дойти до тех свойств, которые удобно сравнивать одно с другим. Удобнее всего сравнивать те свойства, которые оцениваются в числах.

Свойства, для которых существуют объективные численные характеристики, принято называть критериями. Более строго: **критериями** называются количественные показатели свойств объекта, числовые значения которых являются мерой качества объекта оценки по отношению к данному свойству. Получение набора критериев – конечный итог иерархической декомпозиции. Количество уровней зависит от требуемой глубины декомпозиции. Для каждого начального свойства глубина декомпозиции может быть различной.

После выполнения этапа декомпозиции и оценки отдельных свойств должна быть решена проблема обратного перехода к требуемому сравнению альтернатив в целом. Эта проблема предполагает решение задачи композиции критериев по уровням иерархии, что достаточно не просто, особенно при значительной

глубине декомпозиции свойств. В простейшем и наиболее распространенном случае (двухуровневая иерархия) задача композиции решается традиционным получением однократной скалярной свертки критериев. Но уже при наличии трехуровневой иерархии требуются другие подходы.

Можно утверждать, что *любая многокритериальная задача может быть представлена иерархической системой*, на нижних уровнях которой осуществляется оценка объекта по отдельным свойствам с помощью векторов критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом.

Постановка задачи

Качество альтернативы определяется иерархической системой векторов

$$y^{(j-1)} = \{y_i^{(j-1)}\}_{i=1}^{n^{(j-1)}}, j \in [2, m],$$

где $y^{(j-1)}$ – вектор критериев на $(j-1)$ -м уровне иерархии, по компонентам которого оценивается качество свойств альтернативы на j -м уровне; m – количество уровней иерархии; $n^{(j-1)}$ – количество оцениваемых свойств $(j-1)$ -го уровня иерархии. Численные значения n критериев $y^{(1)} = y$ первого уровня иерархии для данной альтернативы заданы. Ясно, что $n^{(1)} = n$ и $n^{(m)} = 1$.

Один и тот же критерий $(j-1)$ -го уровня может участвовать в оценке нескольких свойств j -го уровня, т.е. в иерархии возможны перекрестные связи. Структурная схема системы критериев качества альтернативы показана на Рис.1.

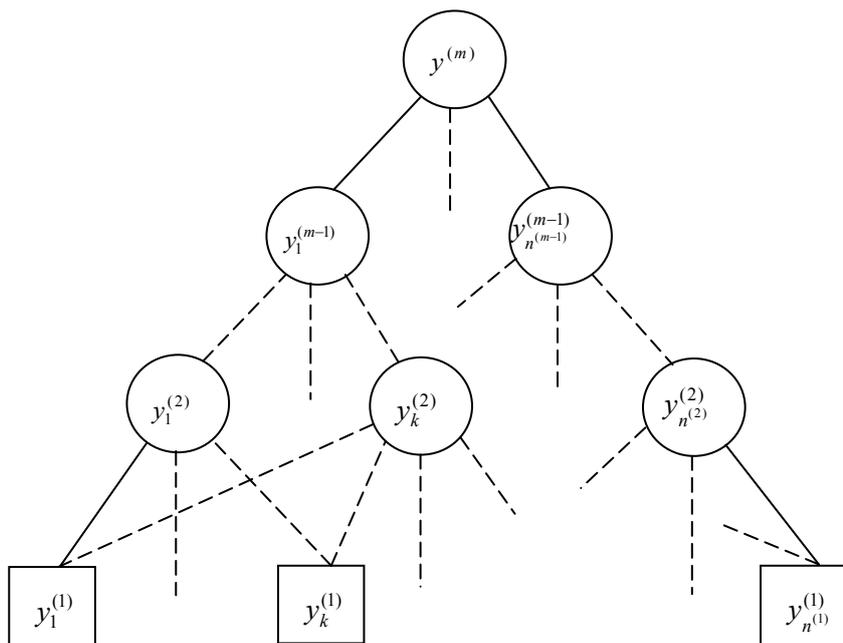


Рис.1

Важность (значимость) каждой из компонент критерия $(j-1)$ -го уровня при оценке k -го свойства j -го уровня характеризуется коэффициентом приоритета, совокупность которых составляет систему векторов приоритета

$$p_{ik}^{(j-1)} = \{p_{ik}^{(j-1)}\}_{k=1}^{n^{(j)}}, j \in [2, m].$$

Требуется найти аналитическую оценку y^* и качественную оценку эффективности данной альтернативы, а из имеющихся альтернатив выбрать лучшую.

Метод решения

Для аналитической оценки эффективности иерархических структур предлагается применить метод вложенных скалярных сверток [3]. Композиция осуществляется по «принципу матрешки»: *скалярные свертки взвешенных компонент векторных критериев низшего уровня служат компонентами векторных критериев высшего уровня*. Скалярная свертка критериев, полученная на самом верхнем уровне, автоматически становится выражением для оценки эффективности всей иерархической системы в целом.

Алгоритм решения задачи методом вложенных скалярных сверток представляется итерационной последовательностью операций взвешенной скалярной свертки векторных критериев каждого уровня иерархии снизу доверху с учетом векторов приоритета на основе выбранной схемы компромиссов

$$\{(y^{(j-1)}, p^{(j-1)}) \rightarrow y^{(j)}\}_{j \in [2, m]}, \quad (1)$$

а поиск оценки эффективности всей иерархической системы (альтернативы) в целом выражается задачей определения скалярной свертки критериев на верхнем уровне иерархии:

$$y^* = y^{(m)}.$$

При использовании рекуррентной формулы (1) важным представляется рациональный выбор схемы компромиссов. Для метода вложенных скалярных сверток адекватной является *нелинейная схема компромиссов*, описанная в [4]. Установлено, что без потери общности предпосылкой для ее применения является то, что все частные критерии неотрицательны, подлежат минимизации и являются ограниченными:

$$0 \leq y_i \leq A_i, A = \{A_i\}_{i=1}^n,$$

где A – вектор ограничений.

Выражение для оценки k -го свойства альтернативы на j -м уровне иерархии с применением нелинейной схемы компромиссов имеет вид

$$y_k^{(j)}(p_k^{(j-1)}, y_{0k}^{(j-1)}) = \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], \quad (2)$$

где критерии $(j-1)$ -го уровня нормированы, например, по формуле $y_0 = y/A$. Таким образом, $y_{0ik}^{(j-1)}$ – компоненты нормированного вектора $y_0^{(j-1)}$, участвующие в оценке k -го свойства альтернативы на j -м уровне иерархии; $n_k^{(j-1)}$ – их количество; $n^{(j)}$ – число оцениваемых свойств на j -м уровне.

Коэффициенты приоритета p – это формальные параметры, имеющие двоякий физический смысл. С одной стороны, это коэффициенты приоритета, выражающие предпочтения ЛПР по отдельным критериям. С другой – это коэффициенты содержательной регрессионной модели, построенной на основе концепции нелинейной схемы компромиссов. Определение коэффициентов p на каждом уровне иерархии может быть выполнено путем оптимизации на симплексе с использованием дуального подхода, описанного в [4], или методом экспертных оценок по шкале баллов.

В последнем случае ЛПР или эксперт должен оценить относительное влияние каждого частного критерия низшего уровня иерархии на общую оценку k -го свойства альтернативы на следующем уровне в заданных условиях и соотнести свою оценку с соответствующей точкой на шкале, характеризуемой числом f . Допускается выбирать точки между числами или приписывать несколько критериев одной точке на шкале.

Областью определения коэффициентов приоритета $p \in \Gamma_p$ является симплекс

$$\Gamma_p = \left\{ p \mid p_i \geq 0, \sum_{i=1}^n p_i = 1 \right\}. \quad (3)$$

Такая нормировка выполняется, если коэффициенты приоритета определить по формуле

$$p_{ik}^{(j-1)} = f_{ik} / \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} f_{ik}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m],$$

где $p_{ik}^{(j-1)}$ – i -я компонента вектора приоритета критерия на $(j-1)$ -м уровне иерархии при расчете оценки эффективности k -го свойства j -го уровня; f_{ik} – оценка значимости i -го свойства $(j-1)$ -го уровня для k -го свойства j -го уровня (определяется экспертами или ЛПР по шкале баллов).

В наиболее простом и достаточно распространенном случае формулируется и решается многокритериальная задача без приоритетов, когда ЛПР полагает, что все параметры значимости для всех свойств альтернативы *одинаковы*. В этом случае используется простейшая скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов в унифицированной форме [4].

Для того, чтобы формула (2) отражала идею метода вложенных скалярных свертки в соответствии с рекуррентной формулой (1), необходимо полученное выражение *нормировать*, т.е. получить относительный критерий $y_{0k}^{(j)} \in [0;1]$ такой, чтобы он был минимизируемым, а его предельная величина была единицей. Однако упомянутый выше способ нормализации критериев $y_0=y/A$ годится только для нижнего (первого) уровня иерархии, где предельные значения критериев (ограничения) обычно физически обоснованы и известны. Для других уровней приходится искать другие подходы. Так, в [3] рассмотрена возможность расчета условий нормировки, исходя из принципа «солидарной ответственности» критериев. В [5] и [6] предлагается использовать подход калибровочных вычислений нормирующего множителя. Рассмотренные методы довольно громоздки и не всегда физически прозрачны.

Конструкция нелинейной схемы компромиссов дает возможность нормировать свертку (2) не к максимальному (что в данном случае затруднительно), а к *минимальному* значению свертки критериев. Действительно, идеальными для минимизируемых критериев являются их нулевые значения. Положив в формуле (2)

$$y_{0ik}^{(j-1)} = 0, \forall i \in [1, n_k^{(j-1)}]$$

и учитывая нормировку (3), получим $y_{k\min}^{(j)} = 1$.

Нормировка к минимальному значению

$$\hat{y}_{0k}^{(j)} = \frac{y_{k\min}^{(j)}}{y_k^{(j)}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}}$$

дает относительный, но *максимизируемый* критерий для j -го уровня. Действительно, при $y_{0ik}^{(j-1)} \rightarrow 1$ этот критерий обращается в ноль, а при $y_{0ik}^{(j-1)} \rightarrow 0$ он стремится к единице. Чтобы получить требуемый *минимизируемый* относительный критерий мы должны положить

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \hat{y}_{0k}^{(j)}$$

и окончательное выражение для рекуррентной формулы расчета аналитических оценок свойств альтернатив на всех уровнях иерархии приобретает вид

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m]. \quad (4)$$

Качественная (лингвистическая) оценка альтернативы получается сопоставлением аналитической оценки с обращенной нормированной фундаментальной шкалой. Общее понятие о порядковой фундаментальной шкале описано в [7]. Интервальная нормированная обращенная шкала представлена Таблицей.

Таблица

Категория качества	Интервалы обращенной нормированной фундаментальной шкалы оценок y_0
Неприемлемое	1,0 – 0,7
Низкое	0,7 – 0,5
Удовлетворительное	0,5 – 0,4
Хорошее	0,4 – 0,2
Высокое	0,2 – 0,0

Модельный пример

Требуется найти количественную $y_0^* = y_0^{(3)}$ и качественную оценки проекта самолета по двум основным свойствам: комфортность, характеризуемая неизвестной пока оценкой критерия $y_{01}^{(2)}$ и надежность, которой сопоставляется неизвестная пока оценка критерия $y_{02}^{(2)}$. Свойство комфортности, в свою очередь, оценивается по трем критериям: расстояние между креслами в пассажирском салоне y_{01} , уровень шума в салоне y_{02} и уровень вибрации пола в салоне y_{03} . Надежность оценивается вероятностью отказов оборудования y_{04} и прочностью конструкции y_{05} . Кроме этих двух в оценке надежности принимает участие критерий уровня вибрации пола y_{03} , т.е. имеет место одна перекрестная связь. Все указанные критерии нормированы и приведены к одному способу экстремизации, а именно, все они подлежат *минимизации*. Критерии низшего уровня принимают участие в оценке свойств высшего уровня с коэффициентами приоритета $p_{ik}^{(j-1)}, j \in [2, m]$. Структурная схема трехуровневой иерархии критериев для оцениваемого проекта представлена на Рис.2.

Заданы следующие числовые значения величин. Критерии нижнего (первого) уровня иерархии: $y_{01} = 0,3$; $y_{02} = 0,5$; $y_{03} = 0,7$; $y_{04} = 0,2$; $y_{05} = 0,1$. Коэффициенты приоритета: $p_{11}^{(1)} = 0,7$; $p_{21}^{(1)} = 0,2$; $p_{31}^{(1)} = 0,1$; $p_{32}^{(1)} = 0,1$; $p_{42}^{(1)} = 0,45$; $p_{52}^{(1)} = 0,45$; $p_{13}^{(2)} = 0,5$; $p_{23}^{(2)} = 0,5$.

На первом этапе композиции критериев, исходя из рекуррентной формулы (4), получим выражение для аналитической оценки свойства комфортности (второй уровень иерархии):

$$y_{01}^{(2)} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_1^{(1)}} p_{i1}^{(1)} (1 - y_{0i1}^{(1)})^{-1}},$$

где $n_1^{(1)} = 3$ и $y_{011}^{(1)} = y_{01}$; $y_{021}^{(1)} = y_{02}$; $y_{031}^{(1)} = y_{03}$.

Подставляя численные значения, получим

$$y_{01}^{(2)} = 1 - \frac{1}{0,7 \frac{1}{1-0,3} + 0,2 \frac{1}{1-0,5} + 0,1 \frac{1}{1-0,7}} = 0,42.$$

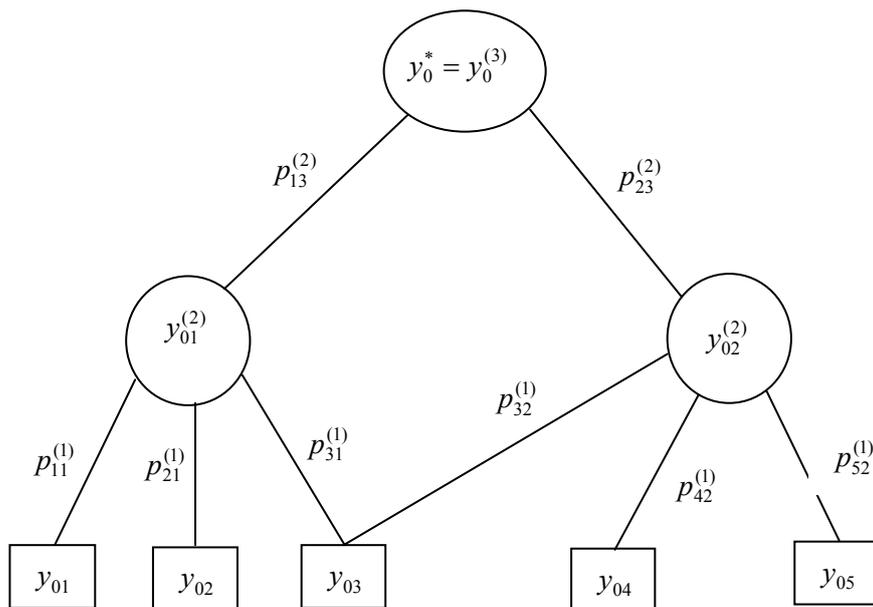


Рис.2

Сопоставляя эту аналитическую оценку с Таблицей, найдем, что свойство комфортности для данного проекта самолета качественно оценивается как *удовлетворительное*.

Выражение для аналитической оценки свойства надежности (тоже второй уровень иерархии) имеет вид

$$y_{02}^{(2)} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_2^{(1)}} p_{i2}^{(1)} (1 - y_{0i2}^{(1)})^{-1}},$$

где с учетом перекрестной связи $n_2^{(1)} = 3$ и $y_{012}^{(1)} = y_{03}$; $y_{022}^{(1)} = y_{04}$; $y_{032}^{(1)} = y_{05}$. Коэффициенты приоритета $p_{12}^{(1)} = p_{32}^{(1)}$; $p_{22}^{(1)} = p_{42}^{(1)}$; $p_{32}^{(1)} = p_{52}^{(1)}$.

Подставим численные значения и получим

$$y_{02}^{(2)} = 1 - \frac{1}{0,1 \frac{1}{1-0,7} + 0,45 \frac{1}{1-0,2} + 0,45 \frac{1}{1-0,1}} = 0,16.$$

В соответствии с Таблицей, качество свойства надежности для данного проекта оценивается как *высокое*.

На заключительном (втором) этапе композиции критериев формула (4) приобретает вид

$$y_0^* = y_0^{(3)} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_3^{(2)}} p_{i3}^{(2)} (1 - y_{0i3}^{(2)})^{-1}},$$

где $n_3^{(2)} = 2$ и $y_{013}^{(2)} = y_{01}$; $y_{023}^{(2)} = y_{02}$.

Подставляя численные значения, получим

$$y_0^* = 1 - \frac{1}{0,5 \frac{1}{1-0,42} + 0,5 \frac{1}{1-0,16}} = 0,32.$$

По этой аналитической оценке качество данного проекта самолета в целом оценивается как *хорошее*.

Литература

- Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. – 232 с.
- Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
- Воронин А.Н. Вложенные скалярные свертки векторного критерия // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 5. – С. 10-21.
- Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Козлов А.И. Векторная оптимизация динамических систем. – К.: Техніка, 1999. – 284с.
- Воронин А.Н. Многокритериальная оценка и оптимизация иерархических систем. Proceedings of the XIII-th International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution", vol.1. –Varna, 2007. –P. 174-183.
- Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 84-92.
- Saaty T.L. Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process. – N.Y.: McGraw-Hill, 1990. – 380 p.
- Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

Сведения об авторе

Воронин Альберт Николаевич – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных информационных технологий Национального авиационного университета, проспект Комарова, 1, Киев-58, 03058 Украина.

МОДЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ: МЕХАНИЗМЫ, СТРУКТУРА, СИСТЕМА ЦЕЛЕЙ, ИНДИКАТОРЫ

Анатолий Крисилов

Аннотация: В постановочном плане рассмотрены вопросы введения понятия «пространство развития», виды возможных изменений системы, структура и механизмы развития. Рассмотрены типологии индикаторов развития, роль информационной компоненты и понятия качества.

Ключевые слова: пространство развития, основные механизмы, цели территориального развития (верхний уровень), типы индикаторов развития, знаниевая компонента, когнитивные задачи.

ACM Classification Keywords: F.2 Analysis of Algorithms and Problem Complexity, 1.2 Artificial Intelligence: 1.2.4 Knowledge Representation Formalisms and Methods, 1.2.8 Problem Solving, I.1.4 Development Simulation.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Вводные замечания

При осмыслении и решении проблем переходного общества, при анализе целей и задач транзитивной экономики, тем более – при разработке связанных с этим информационных моделей, – чрезвычайно актуальными оказываются теоретические и прикладные аспекты развития как такового. Десятки и сотни публикаций во всем мире на эту тему являются демонстрацией и индикатором такой актуальности. Но, несомненно, следует думать, что, несмотря на весьма почтенную историю исследований процессов развития, многие направления и проблемы в его, развития, изучении остаются нераскрытыми. Дело осложняется еще и тем, что по сути своей исследование и описание развития является задачей сугубо междисциплинарной, – и философия, и информатика, и методология, и математика, и социальные дисциплины, и еще многое другое, – должны здесь участвовать.

Участники международных конференций KDS под разными углами зрения, важными для авторов, занимались в своих работах проблемами развития и построением соответствующих моделей. Ряд интересных положений в определенной мере освещен в известных публикациях (см., напр., [1 – 6 и др.])

В настоящей работе речь идет пока о подходах к построению первого уровня информационной модели, об описательной модели некоторых основных черт и компонентов развития. Каковы механизмы, его определяющие, как можно представить его структуру, какими, собственно, могут быть изменения в принципе, какие можно назвать типологии индикаторов развития и так далее, – вот примерное содержание настоящей работы, поневоле являющейся конспективной.

1. Некоторые соображения о структуре развития как процесса

Около двух с половиной тысяч лет назад, рассматривая *структуру* практически любого процесса (изменения, преобразования, развития), индийские философы ранней материалистической школы санхья выделяли три основных компоненты процесса. Во-первых, должен быть начальный блок, непосредственно обеспечивающий начало процесса; этот каузальный, причинный блок напрямую запускает рассматриваемый процесс. Чтобы пуля вылетела из канала ствола, нужно потянуть за спусковой крючок.

Во-вторых, должен существовать определенный механизм (или несколько), который обеспечивает данное конкретное протекание рассматриваемого процесса. Для того, чтобы пуля вылетела из канала ствола, спусковой крючок в своем движении должен утопить шептало, при этом высвобождается пружина боевого

взвода и толкает вперед ударник, его боек разбивает капсюль патрона; при этом загорается порох в патроне, и газы горения, резко расширяясь, выталкивают пулю из канала ствола. Механизм сработал.

Наконец, в-третьих, последователи санкхья считали, что должна иметь место некая цель, внешняя или внутренняя, для того, чтобы этот процесс вообще протекал. Чтобы пуля вылетела из канала ствола, нужно, по крайней мере, чтобы охотник хотел выстрелить в зайца.

Разумеется, каждая из перечисленных компонент является важной, их изучение и описание может/должно затрагивать различные существенные аспекты. Здесь в качестве примера сложности моделирования третьего блока рассмотрим лишь «небольшую» задачу формулирования целей при анализе и управлении региональным развитием (речь идет о сложностях содержательного характера, – трудности моделирования целей имеют, надо думать, совсем иную природу и должны рассматриваться отдельно).

Для субъектов территориального управления чрезвычайно важно взвешенно и ясно сформулировать цели комплексного развития территории. В качестве основных целей социально-экономического развития в регионе, то есть тех целей, которых должны стараться достичь региональные, областные, районные, городские органы управления, представляется правильным выделить следующие:

1. Повышение благосостояния населения, улучшение качества жизни, включая качество среды обитания.

2. Повышение эффективности общественного производства и уровня реализации внешних функций – с возможно более полным учетом специфики географического расположения (в целом, по областям, районам, городам).

Вторая цель может рассматриваться как подчиненная первой, но это справедливо лишь для замкнутой социально-экономической системы. Регион принимает участие в функционировании широкой системы разделения труда, выполняет важные внешние функции (транспортные, рекреационные, научные и т. д.). Поэтому вторая цель рассматривается на том же уровне, т. е. с тем же приоритетом, что и первая.

Однако для территориальных образований этим верхний уровень целей категорически не ограничивается.

Страна в целом и конкретный регион в частности (например, приморский) испытывают в настоящее время жестокий дефицит по всем ресурсам, необходимым для достижения двух указанных целей. Таким образом, эти цели в значительной степени оказываются *конкурентными*, а порой и *конфликтными*. Это означает, что на верхнем уровне системы целей обязательно присутствует, и практически будет существовать всегда, третья цель, присущая именно системе управления социально-экономическим развитием региона, города, области, района.

3. Сбалансированное, взвешенное продвижение к двум названным выше целям.

Отметим, что недостаточное понимание этого факта приводит ко многим *тяжелым последствиям*, в том числе, к межуровневым конфликтам, противостоянию центра и периферии, войне бюджетов и т. д.

Следует подчеркнуть, что первые две цели верхнего уровня могут принадлежать не только властным структурам региона, области, города – государственным, коммерческим, отраслевым или общественным, производственным или социальным. Третья же цель – достижение сбалансированности в продвижении к двум первым, их выравнивание и гармонизация, – это цель *именно системы территориального управления социальным развитием*, системы управления любого уровня, начиная с районного в городе. При разработке комплексных программ, при организации деятельности, отборе проектов, установлении платежей и т. д. – крайне важно в явном виде учитывать эту цель, ее приоритет и т. д.

Следует отметить, что регион (область, район, малый или миллионный город) представляет собой емкий, многомерный, просто превосходный полигон для исследования и отработки целого ряда вопросов по интересующей нас проблематике. С регионом как социальной общностью связано понятие жизненной динамики: может иметь место развитие, стагнация, деградация.

Под социально-экономическим развитием региона обычно понимают такой процесс изменений (вносимых, в частности, органами управления и/или самими региональными субъектами), который опирается на

естественные эволюционные тенденции, и, соответствуя целям управления, приводит к повышению качества жизни и улучшению социально-экономического потенциала данной социальной общности.

Ряд глубоких соображений о внешней детерминанте системы (как об определяющем само существование системы третьем блоке идеологии санкхья) приводится в [4].

2. Виды изменений и основные механизмы развития

Что сущностное может быть перечислено в качестве таких изменений, если говорить об этом по большому счету, не такими словами, как «изменение элементов», «рост связей» и др., а возможно более общим образом, указывая при этом, какие, собственно, происходят изменения?

В работе [7] приведена таблица, содержащая такие основные изменения: 1. Тожественное преобразование (сохранение, никаких преобразований). Далее следуют изменения: 2. количественное; 3. качественное; 4. изменение отношений (связей); 5. качественно-количественное; 6. изменение качества и отношений; 7. изменение количества и отношений; 8. изменение (количество + качество + отношения). Первое из приведенных изменений (нулевое изменение) введено для полноты описываемой схемы. Указанные преобразования могут иметь эволюционный или неэволюционный характер, мало того, в позициях 5 – 8 парные и тройственные изменения также могут быть комбинированными – один компонент меняется эволюционно, другой – скачком и т. д. Таким образом, палитра изменений оказывается широкой.

Говоря о механизмах развития, понимая метафорическое, в определенной степени, применение этого термина, обычно используют различные типологии. Одна из них, достаточно полная, описывает механизмы с учетом характера применяемых в них средств или их природы: механизмы экономические, управленческие, социальные,... Много интересных результатов получено на этом пути.

Вероятно, более продуктивным для наших целей будет описание механизмов с точки зрения их содержания, взятое из области биологии, то есть, не «какие они», а «что они делают». В этом случае мы получаем прекрасную гамму механизмов преобразования: изменчивость (механизмы мутации, поиска,...), наследственность (сохранение, передача, депонирование,...), наконец – отбор (оценка, выбор, закрепление и т. д.). В работах [13 и др.] таким описаниям уделяется значительное внимание, в частности, при анализе технического, социального, социально-экономического развития.

Эта последняя типология представляется исключительно интересной с методологической точки зрения. Какова морфология этих механизмов, как выглядят связи между ними, их взаимовлияние и/или независимость, чем определяется метрика пространства описания – эти и многие другие вопросы, будучи разработанными в биологии и некоторых социальных науках, представляют собой почти не паханое поле для методологического анализа, системного описания и, тем более, для моделирования. В частности, чрезвычайно интересно провести анализ составных, комплексных механизмов, таких, например, как социальное партнерство, продуктивная занятость, рынок труда (как механизм), рынок информационных услуг и др., в которых одновременно действуют и наследование, и поиск, и отбор. Такие исследования должны оказаться весьма богатыми и для предметных областей, и для самой методологии. Например, как должны распределяться ресурсы при организации инновативных действий, какая доля этих ресурсов должна идти на сохранение, на обеспечение стабильности, – какой ответ на эти вопросы даст методология? Как следует обосновать введение такого критерия развития: основным показателем развития является не динамика внутреннего валового продукта, не рост потребления, даже не производство предметов труда, а способность общественной системы (определенной организованной социальной структуры) формировать и использовать творческий потенциал людей. Растет эта способность – будет иметь место прогресс, не растет – будет увеличиваться серость, обезличка, «массовая культура», социальная поляризация. Однако – чем мерить эту способность? И т. д., и т. д.

3. О пространстве развития

Желая более полно понять, более емко представить категорию развития, целесообразно выразить это представление пространственно, то есть ввести понятие «пространство развития». Тогда окажется более естественным привлекать и оперировать с такими понятиями, как траектория развития, расстояние между вершинами графа, наконец, вектор развития [12]. Видимо, целесообразно ввести понятие «структурное расстояние», оценивающее *степень развитости структуры*, аналогично – для функций и т. д.

Такое представление будет продуктивным, например, потому, что в нем окажется возможным определять «точку сборки», выяснять отношения системы со средой, то есть отслеживать динамику границ развивающейся системы (при проведении первичной структуризации). Далее, можно говорить о *качестве* связей. В свое время Б. Фуллер ввел для специальных конструкций новое понятие *tensegrity*, от слов *tense* и *integrity* – «напряженное единство». Аналогично, можно говорить о тенсегритных связях, таких, которые в нашем пространстве образуют целостные структуры, переводя «упругость» в «жесткость».

Здесь речь идет о пространстве развития как об определенной, достаточно общей системной категории, как в математике говорят о пространстве чисел, как в теории распознавания образов – о пространстве признаков, описывающих классы, как в управлении – о пространстве возможных решений. В работах замечательного математика М. Г. Крейна можно назвать, по крайней мере, два конструктивных направления, которые представляются содержательно подходящими и продуктивными в наших задачах. Этот инструментарий – теория эластичности и теория операторов для пространств с индефинитной метрикой. Список этот, разумеется, может быть продолжен: графы с приложениями, теория матроидов, методы фрактального анализа, теория размытых множеств, сплайны, алгебра конфликтов и т. д., и т. п.

4. Типы индикаторов развития

Для решения теоретических и практических задач важным вопросом является определение (отбор, формирование и т. д.) индикаторов развития, параметров, определяющих направленность, устойчивость, качество анализируемого или управляемого развития. Вероятно, наиболее простым (хотя здесь нет простых аспектов) для такой предметной области, как социально-экономическое развитие, будет начать с рассмотрения характеристик, описывающих, с одной стороны – отраслевое, с другой – территориальное развитие. Критериями в таком исследовании, оценкой баланса и методом гармонизации определенно могут выступать показатели уровня и качества жизни на данной территории. Эти вопросы достаточно хорошо разработаны в социальной статистике, определены границы классов качества, можно рассмотреть пирамиду Маслоу, индивидуальные и коллективные потребности, уровень и условия их удовлетворения. Методологический аспект таких работ очень интересен.

Отдельно может быть рассмотрен набор экологических или социально-экологических индикаторов и критериев. Параметры среды обитания, «расширенное воспроизводство» этой среды, условия поддержания высокого уровня здоровья, демографические характеристики – вот краткий перечень того, что следовало бы анализировать. Количество аспектов здесь очень велико, а границы поля изучения весьма размыты. Например, следует ли при анализе социально-психологической устойчивости населения учитывать уровень и характер трудовых отношений?

Следующим типологическим срезом индикаторов развития может стать описание характеристик таких механизмов, как изменчивость, наследственность, отбор. Здесь также большое количество проблем, направлений анализа и, как следствие, открывающихся конструктивных возможностей.

Очень важной задачей является разработка критериев и индикаторов, описывающих развитие развития: какие темпы, направленность, глубина характеризуют «вторую производную»? Как это моделировать?

5. Вопросы

Выше шла речь о формировании пространства, в котором окажется возможным строить информационную модель развития. По поводу этого пространства и вообще в контексте обсуждаемых проблем и задач следует сформулировать ряд вопросов, ответ на которые (т. е. построение *модели*), улучшая наше понимание развития, мог бы быть увиден (или *построен*) в этом пространстве [12].

Ну, за вопросами дело не станет. Некоторые из них приведены выше. Перечислим еще несколько.

а) Чем и как запускаются названные выше (или другие) механизмы развития? Чем и как они останавливаются, тормозятся? Да, определенные соображения могут быть высказаны – например, накапливаются количественные изменения, и срабатывает первый блок системы санкций. Но хорошо бы понять, чем в системе (т. е. на системном языке) задаются пороги, критерии?

б) Что, собственно, мы фиксируем в системе, когда говорим, что она развивается, т. е. что откладывать на осях, какие фундаментальные характеристики? Понятно, что при анализе динамики различных конкретных систем – физических, социальных, биологических – учитываются *свои* понятия и параметры, взятые из *своих* предметных областей. Но нам-то надо оперировать *общими характеристиками, общими терминами и представлениями*. В нашем случае должны фигурировать такие выражения, как, например, «основное качество», «система готова», «слабая зависимость», как классическое «процесс пошел», «пройден второй этап» и др. Надо думать, это одна из системологических задач. Причем таких общих взглядов на развитие (повторимся – для его многомерного описания) может быть, естественно, несколько. Один из них – рассматривать развитие структуры и функций. Поскольку эти параметры зависимы, то для создаваемого пространства развития мы определенно получим неортогональную систему координат. Это представляется естественным и, очевидно, вполне продуктивным (например, сразу можно увидеть, что, скажем, усложнение структуры будет увеличивать число функций или усложнять имеющуюся).

Другой общий взгляд – откладывать на осях развитие (изменение) субстрата и атрибутов системы, может быть – ее концепта, целевых характеристик. Третий подход – использовать для этих целей ставшую классической триаду А. И. Уемова (вещи, свойства и отношения), а также определенные переменные из ЯТО – языка тернарного описания в разрабатываемом им и его школой параметрическом варианте общей теории систем. А может, хоть и с разбором, применить ряд таких подходов? Каких именно? Однако мы уже начали искать ответы, вернемся к нашим вопросам.

в) Что является в системном смысле шестеренками (то есть исполнительными элементами) механизмов развития? С условиями развития кое-что понятно, они, разумеется, в этом механизме участвуют, – температура для химических и физических превращений в живом организме, давление, наличие или отсутствие катализаторов и т. д. Но это все имеет смысл, если можно так сказать, «внешних» факторов, то есть, если следовать примененной метафоре, они играют роль числа зубьев на шестеренках, их диаметра, качества их подшипников. А каковы «шестеренки» и «трансмиссии» этих механизмов в сущностном, инженерном смысле, т. е. сами по себе? Например, использовать такие параметры, как подобие, регенеративность, конгруэнтность, комплементарность, близость по Гумбольдту...

Что, собственно, заложил Генеральный Конструктор в эти механизмы в системном смысле? – кроме обратных связей, положительных и отрицательных, и кроме оценочно-критериальных свойств (умений, что ли, или знаний)? Как сцеплены и чем управляются эти шестеренки?

г) Как рождается Новое? Что служит критерием его возникновения? Как система этот сигнал распознаёт?

д) Какова природа шумов, приводящих к ошибкам в этих процессах? Как показать их в пространстве?

е) Если шестеренками являются законы (наследования, сохранения, взаимосвязи...) и принципы (толерантность, балансирование, гармонизация, адаптация...), то что же откладывать на осях? А может быть, законы – это лишь условия процесса, а принципы – его параметры?

(Может быть, поначалу более естественно говорить не о пространстве развития, а о пространстве изменений, как говорилось раньше? И тогда одни траектории, описывающие поведение системы в этом

пространстве, будут связаны с развитием, другие – с деградацией системы, третьи – со стагнацией, про четвертые, пятые и т. д. – вообще ничего (на нашем языке) нельзя пока сказать...).

ж) Как различать самоподдерживающийся процесс развития, т. е. запрограммированный и затем текущий самостоятельно, и такой, который может протекать только при внешней поддержке, то есть, для краткости сказать, – иждивенческий? Как в этих терминах, для нашего пространства, описать простое и расширенное воспроизводство? На Украине в 70-е годы в Институте кибернетики для описания развивающихся систем (например, экономических систем с расширенным воспроизводством) успешно были применены интегральные уравнения с ядром Фредгольма, в которых различные составляющие более или менее адекватно описывали различные доли внутреннего продукта системы.

з) Может ли в целом процесс развития иметь место без потребления системой чего-то извне, – энергии, информации и т. д.? Это вопрос об открытых и закрытых системах.

и) Если возникает, развиваясь, структура, то что есть «предструктура» и как ее увидеть в этом пространстве? То же относится и к «предфункции», функции, гиперфункции, дисфункции...

Заметим, что на некоторые из этих вопросов определенные ответы могут быть предложены уже сейчас, хотя бы частично, формально, но и это уже может быть продвижением. Как говаривал Нейл Армстронг: «Этот небольшой шаг...»

6. Вместо заключения

Приведенные в предыдущих параграфах вопросы могут рассматриваться как элементы некоторой исследовательской программы при изучении процесса развития как такового и его моделировании.

Очень важные, глубокие и принципиальные материалы содержатся в [7], где с системных позиций описаны различные виды классификаций (напр., на основе изоморфно/полиморфного представления, симметрии-дисимметрии-асимметрии, эволюционного/неэволюционного переходов и других *сущностных* характеристик системы), а также введено свое определение системы. На этой базе в качестве определенных элементов теории развивающихся систем перечислены *способы и формы преобразования одних систем в другие*. Этот путь представляется очень перспективным, следует, однако, заботиться о полноте системных характеристик.

Выскажем несколько непричесанных заключительных соображений.

К числу очень важных критериев нужно отнести такое понятие, как порог разнообразия. Это связано с уровнем сложности, с оценкой степени и уровня относительной организованности рассматриваемых систем. Нужно фиксировать при этом сложность состава (по свойствам, компонентам, отношениям, по стадиям поведения,...), сложность организованности системы (ее устойчивость, степень соответствия целям, наличие/отсутствие указанных выше тенсегритных связей) и интегральную сложность, учитывающую все виды сложности и их «вес». Эвристическая функция сложности, по В. Тютину, будет проявляться в принципе сохранения сложности или в законе необходимого разнообразия, или сложности У. Эшби. И здесь нужно отметить, что где-то в конце 60-х В. Глушковым была сформулирована теорема, гласившая, что если в некоторой системе достигнут определенный порог разнообразия (по связям, по природе и масштабам элементов и т. д.), то эта система обречена на развитие. Если этот порог не достигнут, – система обречена на стагнацию и на деградацию.

На очень важную характеристику обращают внимание разные авторы, в частности, В. В. Налимов [8]. Речь идет о качестве как таковом. Выше говорилось о таком составном критерии, как уровень и качество жизни. В свое время Н. Амосов ввел при моделировании социального развития такое понятие как УДК – Уровень Душевного Комфорта [9] и активно использовал его. Вопрос о качестве является непростым и, в контексте нашего рассмотрения, повидимому, весьма продуктивным. Отметим здесь лишь два аспекта.

Первый из них частично освещен в [10]. Для развития экономики, для развития социума необходимо создание дополнительной стоимости. На протяжении прежних стадий развития экономики (заметим – при разных формациях!) дополнительная стоимость создавалась в массовом виде за счет товара, затем, для ряда стран, за счет услуг (выступавших в роли товара), затем – за счет качества товара и услуг. В последние десятилетия в передовых капиталистических странах вперед выдвигаются такие факторы формирования дополнительной стоимости (и, в частичном соответствии – развития), как качество услуг и качество менеджмента. Наконец, в информационной экономике ведущим фактором создания дополнительной стоимости становятся знания, информация. На наших глазах происходит формирование такой стоимости, которая как политэкономическая категория делается все более нематериальной. И здесь опять-таки следует обратить внимание на качество, в широком смысле.

Очевидно, что создание новой социально-экономической ситуации, развитие новой экономики, связаны с тем, что общество научилось использовать то самое качество человека, которым он отличается от всех остальных существ на Земле, – *понимание и умение оперировать символами* [11]. Эта мощная компонента социально-экономического потенциала общества с некоторых пор стала в массовом порядке актуализироваться. Результатом и явилось то, что дополнительная стоимость начала возникать в процессе генерирования и «промышленного» использования *знаний*.

Сказанное, в частности, означает, что при построении, например, моделей территориального развития, процессов формирования «знаниевой» экономики, – можно обсчитывать и измерять лишь ту часть, которая, во-первых, вообще поддается такой оценке, а во-вторых, отображается в региональной статистике и включает в себя, скажем, уровень общей образованности, высшее образование (не число вузов, а число жителей с высшим образованием), *квалификационные* характеристики работников науки, просвещения, культуры, творческой интеллигенции, то есть собственно *интенсивные* показатели.

Второй аспект учета качества при анализе и оценке развития тесно связан с социальной моралью и социальным поведением. Не вдаваясь в долгие рассуждения, приведем слова известного на Западе теолога Дитриха Бонхёффера, написанные им в нацистской тюрьме незадолго до казни 9 апреля (!) 1945г. в концлагере Флоссенбюрг (цит. по [8]): «...Мы переживаем сейчас процесс общей деградации всех социальных слоев и одновременно присутствуем при рождении новой, благородной, аристократической позиции. Она возникает и существует благодаря жертвенности, мужеству и ясному сознанию того, кто кому и чем обязан... Главное – это расчистить и высвободить погребенный в глубине души опыт качества, главное – восстановить порядок на основе качества. С позиций культуры опыт качества означает возврат от газет и радио – к книге, от спешки – к досугу и тишине, от рассеяния – к концентрации, от сенсации – к размышлению, от снобизма – к скромности, от недостатка чувства меры – к умеренности...».

Здесь снова возникает представление о системе целей и требований, о третьем блоке системы санкций: ради чего развивается процесс, какие *целевые* позиции выставлены *в конце* (очевидна ли при этом глубинная, не внешняя цикличность развития?). Точнее – это представление о степени соответствия элементов, связей, их качеств в системе – совокупности целей и требований или внешней детерминанте.

И, наконец, последнее. Среди многих остающихся вопросов отметим следующий. Выше говорилось о важности анализа «второй производной» развития, о рассмотрении, оценке (может быть – управлении, включении в модель) такого аспекта, как *развитие развития*, – о его темпах, направленности, природе, монотонности/немонотонности и т. д. Но тогда может возникнуть искушение ввести и третью производную, а затем и четвертую... Где и чем может быть положен предел этой рекуррентной бесконечности? Где происходит диалектическое «снятие» этой сложности? Надо думать, что ответы могут быть найдены при грамотном, эффективном совмещении методологической и онтологической компонент исследования, как результат последовательной содержательной постановки целей, – в построении сложных моделей очень важна пошаговая работа, ревизия результатов, их осмысленное сопоставление с целями и практикой.

Литература

1. G.S. Voronkov, Z.L. Rabinovich. Cognitive Model of Memory & Thinking. IJ ITA, 2000, v. 7, # 4, FOI-Comm., Sofia, 2000.
2. О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. Теорія прийняття рішень. – К., Вид.-полігр. Центр „Київський Університет”, 2006.
3. А. В. Палагин. Современные информационные технологии в научных исследованиях. – Международная конференция KDS-97, Ялта, 1997.
4. М. Ф. Бондаренко, Е. А. Соловьева, С. И. Маторин. Основы системологии. – Харьков, ХТУРЭ, 1998.
5. А. Крисилов, В. Крисилов. Формирование целеориентированной векторной модели для построения агрегированных оценок сложных объектов. // Моногр. «Методы решения экологических проблем». Под ред. проф. Л. Мельника. – Сумы: «Козацький вал», 2005
6. И. И. Горбань. Гиперслучайные явления: определения и описание. Proc. XIII Intern. Conference “Knowledge – Dialogue – Solution”, vol. # 1, June 18 – 24, 2007, Varna (Bulgaria). – ITHEA, Sofia, 2007.
7. Ю. А. Урманцев. Эволюционика. – Пущино; ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1988.
8. В. В. Налимов. На грани третьего тысячелетия: что осмыслили мы, приближаясь к XXI веку. – М., «Лабиринт», 1994.
9. Н. М. Амосов. Разум, человек, общество, будущее. – К., «Байда», 1994.
10. А. Д. Крисилов, В. А. Крисилов. Информация, экономика, экология – компоненты социально-экономического потенциала территории (Инновационные характеристики региона и трехмерное представление кривой С. Кузнецца). Proceedings of the XIII Intern. Conference “Knowledge – Dialogue – Solution”, vol. # 1, June 18 – 24, 2007, Varna (Bulgaria). – ITHEA, Sofia, 2007.
11. М. Кастельс. Информационная эпоха: экономика, общество и культура. – М., ГУ ВШЭ, 2000.
12. А. Д. Крисилов. Два коренных вопроса о живом. Послесловие редактора. В кн. А. Н. Барбараш. Волновые процессы в живом: основы стереогенетики и физиологии мышления. – Одесса, «Ом – Полис», 1998.
13. Н. Н. Моисеев. Слово о научно-технической революции. – М., «Молодая гвардия», 1985; Человек и ноосфера. – М., «Молодая гвардия», 1990.

Информация об авторах

Анатолий Крисилов – Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, к. т. н., доц. кафедры информационных и коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (0482)-632-598; моб. (38097)-291-33-24; E – m: adkrissilov@list.ru

СНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА В ЗАДАЧАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Алексей Петровский, Григорий Ройзензон

Аннотация: Представлен метод последовательного снижения размерности признакового пространства, который позволяет упростить процедуру порядковой классификации многокритериальных альтернатив и уменьшить ее трудоемкость.

Ключевые слова: многокритериальная порядковая классификация, вербальный анализ решений, агрегирование признаков, снижение размерности признакового пространства

ACM Classification Keywords: H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Одной из основных задач теории принятия решений является разделение множества альтернатив на несколько заранее заданных упорядоченных групп (классов решений). В реальных ситуациях альтернативы описываются многими разнообразными признаками, и число таких признаков может быть достаточно велико (десятки и сотни). Непосредственная классификация альтернатив, описываемых достаточно большим числом признаков, на основе предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), является достаточно трудоемкой процедурой, требующей значительных временных затрат и разработки специальных методов опроса ЛПР. При решении задачи классификации большой размерности ЛПР зачастую применяет различные упрощенные стратегии с использованием только части критериев, что негативно сказывается на построении границ классов решений, выработке решающих правил, дальнейшем анализе полученных результатов [Ларичев, 2006].

Дополнительные трудности появляются в случае слабо структурируемых задач классификации, сочетающих количественные и качественные зависимости, для которых построение объективных моделей либо невозможно в принципе, либо сопряжено со значительными сложностями. Примерами таких задач могут служить конкурсный отбор научных проектов, оцененных несколькими экспертами по многим качественным критериям [Петровский и др., 1990], оценка банковских кредитов по степени риска [Асанов и др., 2001a].

Одним из способов преодоления описанных выше сложностей является снижение размерности признакового пространства. В работе предлагается новый подход к сравнению и классификации многопризнаковых объектов по их свойствам, в котором большое число исходных характеристик альтернатив последовательно агрегируется в небольшое число критериев, имеющих небольшие шкалы оценок, отражающих предпочтения ЛПР. Процедура агрегирования признаков использует различные методы вербального анализа решений и имеет блочный характер, за счет чего существенно сокращается трудоемкость построения решающих правил классификации и появляется возможность объяснения полученного результата.

Многокритериальная порядковая классификация альтернатив

Задача многокритериальной порядковой классификации формулируется следующим образом. Задано множество альтернатив A_1, \dots, A_p , оцененных по многим критериям K_1, \dots, K_m . Каждый критерий имеет упорядоченную дискретную шкалу $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^q\}$, $i=1, \dots, m$. Заданы упорядоченные классы (категории)

C_1, \dots, C_q . Требуется разбить исходную совокупность многопризнаковых объектов по классам. Рассмотрим некоторые из методологических подходов к решению этой задачи.

В методе ELECTRE TRI [Roy and Bouyssou, 1993] классифицируется множество альтернатив, оцененных по многим критериям, имеющим балльные шкалы и разные веса. Классификация строится с использованием специальных индексов конкорданса (согласия) и дискорданса (несогласия) при попарном сравнении альтернатив. Значения этих индексов формируются ЛПР не в какой-то фиксированный момент, а в процессе анализа проблемы. Веса критериев назначаются ЛПР, что является субъективной и не имеющей строгих обоснований процедурой.

Интерактивная процедура классификации, в которой предпочтения ЛПР описываются линейной функцией полезности, содержится в [Köksalan et al., 2003]. Математический аппарат, используемый в этой процедуре, базируется на свертке многих числовых критериев в виде «взвешенной суммы», где определение весов исходных показателей является достаточно серьезной проблемой. При большом числе критериев построение функции полезности сопряжено с большими трудозатратами ЛПР. Применение методов, использующих взвешенную свертку критериев, для решения задач классификации большой размерности не позволяет дать объяснение полученных результатов, поскольку невозможно восстановить исходные данные по агрегированным показателям.

Классификация многокритериальная альтернатив с применением огрубленных множеств предложена в [Greco et al., 2002]. Предпочтения ЛПР выражаются с помощью наборов решающих правил, которые с разной степенью определенности относят альтернативы в заданные классы. Метод оперирует с достаточно большим числом решающих правил классификации, трудным для непосредственного анализа ЛПР, и требует для своего построения обучения на специально выделенных массивах данных.

Принципиально иной подход к многокритериальной порядковой классификации альтернатив дает методология вербального анализа решений [Ларичев, 2006], предназначенная для работы с альтернативами, имеющими лишь вербальные оценки по критериям, к которым не применяются никакие количественные преобразования. Оценка и сравнение могут проводиться как для всех гипотетически возможных, так и для конкретных альтернатив. Предпочтения ЛПР проверяются на непротиворечивость, а выявленные противоречия предъявляются персоне для анализа и разъяснения. Эффективность методов классификации ОРКЛАСС и ЦИКЛ, разработанных в рамках вербального анализа решений, оценивается числом обращений к ЛПР, необходимых для построения полной непротиворечивой классификации.

При построении классификации большой размерности важно учитывать возможности человека. Результаты психологических экспериментов показывают [Ларичев, 2006], что при числе критериев больше 5, числе оценок на шкалах критериев больше 4 и числе классов решений более 5 люди склонны применять различные упрощенные стратегии классификации с использованием только части критериев. Подобные сложности возникают и при решении практических задач [Петровский и др., 1990].

Преодолеть указанные сложности, можно, например, за счет снижения размерности признакового пространства. Один из способов состоит в бинаризации оценок на шкалах критериев [Асанов и др., 2001б]. Однако такой подход сильно упрощает описание альтернатив и классов решений, снижает выразительные возможности языка для представления предпочтений ЛПР и объяснения полученного результата, что не всегда согласовывается со спецификой конкретной предметной области. Рассмотрим другой возможный подход к снижению размерности признакового пространства, использующий последовательное иерархическое агрегирование признаков в небольшое число критериев с вербальными порядковыми шкалами.

Снижение размерности признакового пространства

Формально задача снижения размерности признакового пространства имеет следующий вид:

$$X_1 \times \dots \times X_m \rightarrow Y_1 \times \dots \times Y_n, n < m,$$

где X_1, \dots, X_m – исходный набор признаков, Y_1, \dots, Y_n – новый набор признаков, m – размерность исходного признакового пространства, n – размерность нового признакового пространства. Каждый из признаков имеет свою собственную шкалу $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^g\}$, $i=1, \dots, m$, $Y_j = \{y_j^1, \dots, y_j^h\}$, $j=1, \dots, n$ с упорядоченной градацией оценок.

Предлагаемый подход к агрегированию признаков базируется на предпочтениях ЛПР. Первоначально при участии ЛПР формируется исходный набор характеристик рассматриваемых объектов. В зависимости от специфики задачи эти характеристики могут быть либо заданы заранее, либо сформированы в процессе анализа проблемы. Например, при выборе трассы газопровода необходимо учитывать затраты на строительство, экологический ущерб, вероятность аварий и оценку их последствий и другие показатели [Ларичев, 2006]. Далее, основываясь на опыте и интуиции ЛПР, исходные характеристики объединяются в группы критериев, обладающих вербальными порядковыми шкалами с небольшим числом градаций (3-5). Смысловое содержание критериев и шкал оценок определяется ЛПР. Критерии должны иметь такие шкалы оценок, которые, с одной стороны, будут отражать агрегированные качества объектов, а с другой стороны, будут понятны ЛПР при окончательном выборе объекта или их классификации.

Метод ИСКРА (Иерархическая Структуризация Критериев и Атрибутов) включает следующие шаги [Ройзензон, 2005а]. Составляется перечень всех базовых показателей (например, список технических характеристик объектов), которые составляют нижний уровень иерархической системы показателей. Для каждого базового показателя формируется шкала, которая может иметь числовые (точные, интервальные) или вербальные оценки. Шкалы оценок базовых показателей могут совпадать с обычно используемыми на практике, либо конструироваться специально.

Далее ЛПР, по своему усмотрению, определяет число, состав и содержание критериев следующего уровня иерархии. В качестве критерия можно выбрать один из базовых показателей или несколько характеристик, объединенных в составной критерий. ЛПР устанавливает, какие базовые показатели будут считаться самостоятельными критериями, а какие будут отнесены к тому или иному составному критерию. Для формирования шкал оценок по составным критериям ЛПР может воспользоваться несколькими процедурами.

Наиболее простым и легко воспринимаемым ЛПР способом конструирования порядковой шкалы для составного критерия является эвристический подход, в котором используются однотипные наборы порядковых вербальных шкал базовых показателей. Исходные оценки объединяются в обобщенную оценку по принципу: все лучшие оценки по базовым показателям образуют одну лучшую оценку по составному критерию, все средние оценки – средние оценки, все худшие оценки – одну худшую оценку.

Более сложные процедуры построения шкал критериев предполагают применение методов вербального анализа решений [Ларичев, 2006], в которых необходимо рассматривать множество всех возможных кортежей оценок в признаковом пространстве, образованном декартовым произведением значений оценок на шкалах критериев. Метод ЗАПРОС позволяет построить единую порядковую шкалу составного критерия, формируя ее из оценок по отдельным базовым показателям. Метод ОРКЛАСС предназначен для построения полной непротиворечивой порядковой классификации многопризнаковых объектов, в качестве которых в нашем случае выступают наборы оценок по базовым показателям, образующим составной критерий.

Процедура агрегирования показателей может иметь последовательный характер, т.е. полученные группы критериев могут быть, в свою очередь, объединены в новые группы (следующий уровень иерархии) и так далее. При конструировании шкал составных критериев на разных этапах процедуры могут использоваться различные подходы. Например, один из агрегированных критериев можно сформировать при помощи простого эвристического метода, а другой – при помощи многокритериальной порядковой классификации.

Построение решающих правил классификации

В случае порядковой классификации многокритериальных альтернатив процедуру агрегирования показателей можно представить в виде иерархической структуры, состоящей из последовательно выполняемых однотипных блоков классификации. Блоки содержательно выделяются ЛПР в зависимости от специфики решаемой задачи. Каждый блок классификации i -го уровня иерархии состоит из некоторого набора признаков и одного составного критерия. В качестве объектов классификации выступают все градации оценок на шкалах признаков. Классами решений i -го уровня служат градации оценок на шкале составного критерия. В блоке классификации $(i+1)$ -го уровня иерархии составные критерии i -го уровня считаются признаками, множество градаций оценок которых представляет собой новые объекты классификации в сокращенном признаковом пространстве, а классами решений будут теперь градации оценок на шкале составного критерия $(i+1)$ -го уровня. Процедура повторяется до тех пор пока не останется единственный составной критерий верхнего уровня, шкала оценок которого образует искомые упорядоченные классы решений C_1, \dots, C_q . Тем самым устанавливается взаимно-однозначное соответствие между классами решений C_1, \dots, C_q и совокупностью исходных показателей – множеством $X_1 \times \dots \times X_m$ всех возможных комбинаций градаций оценок на шкалах критериев $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^p\}$, $i=1, \dots, m$ критериев K_1, \dots, K_m и находятся границы классов что позволяет легко построить классификацию реальных альтернатив A_1, \dots, A_p , оцененных по многим критериям.

Рассмотрим построение решающих правил классификации на модельном примере. Исходное множество альтернатив описывается восемью критериями (базовыми признаками) K_1, \dots, K_8 , имеющими шкалы X_i с двумя или тремя вербальными порядковыми оценками 0,1,2, где 0 обозначает лучшую оценку, 1 – среднюю (или худшую), 2 – худшую. Требуется разбить множество альтернатив на пять упорядоченных классов C_1, \dots, C_5 (рис. 1).

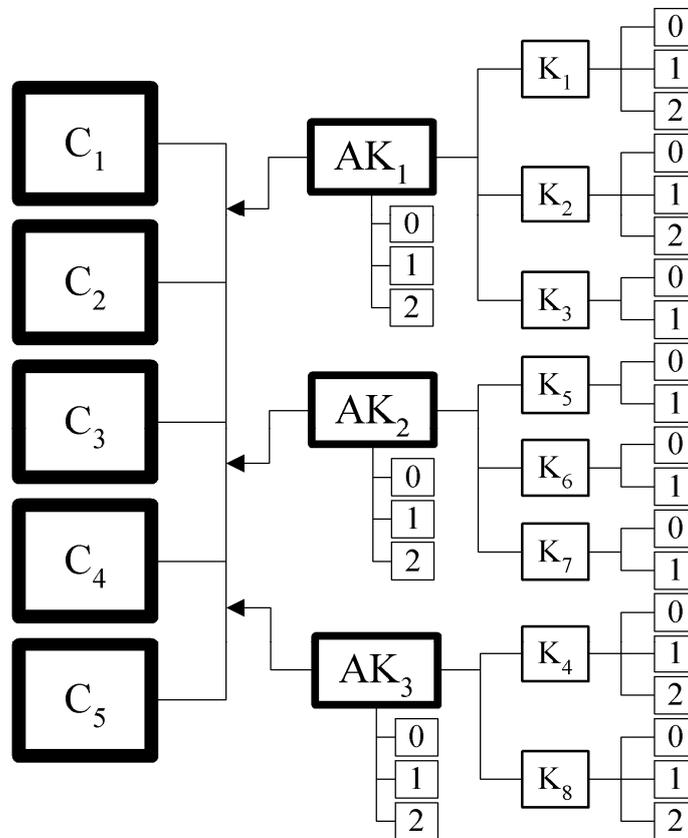


Рис. 1. Схема построения критериев и формирования шкал оценок

Например, критерий K_1 характеризует «Степень выполнения заявленных задач», которая может оцениваться как 0 – задачи выполнены полностью, 1 – задачи выполнены частично, 2 – задачи не выполнены; критерий K_3 оценивает «Достижение поставленной цели в установленные сроки» как 0 – реальное, 1 – нереальное. Критерии K_1, \dots, K_8 имеют следующие шкалы: $X_1=\{0,1,2\}$; $X_2=\{0,1,2\}$; $X_3=\{0,1\}$; $X_4=\{0,1,2\}$; $X_5=\{0,1\}$; $X_6=\{0,1\}$; $X_7=\{0,1\}$; $X_8=\{0,1,2\}$. Таким образом, размерность исходного признакового пространства равна 1296. Составным критерием верхнего уровня является «Результативность», градации оценок по шкале которого (высокая, хорошая, средняя, низкая, неудовлетворительная) определяют 5 упорядоченных классов решений. Непосредственная классификация исходного множества альтернатив требует существенных трудозатрат ЛПР.

Введем три составных критерия AK_1, AK_2, AK_3 , имеющих порядковые шкалы с тремя градациями: $Y_1=\{0,1,2\}$; $Y_2=\{0,1,2\}$; $Y_3=\{0,1,2\}$, где значения 0,1,2 являются вербальными оценками, определяемыми содержанием соответствующих составных критериев, и выступают как классы решений 1 уровня для исходных базовых признаков (критериев). Допустим, что ЛПР решил агрегировать исходные признаки K_1, K_2, K_3 в составной критерий AK_1 ; признаки K_5, K_6, K_7 – соответственно в составной критерий AK_2 и признаки K_4, K_8 – в составной критерий AK_3 . Для формирования шкал составных критериев ЛПР воспользовался одной из указанных выше процедур. В результате опроса для шкалы Y_1 получены следующие градации оценок (классы решений с границами): $y_1^1=0$ – класс 0 (верхняя граница: 000; нижняя граница: 100,010, 001); $y_1^2=1$ – класс 1 (верхняя граница: 200,110,020,101,011; нижняя граница: 210,120,201,111,021); $y_1^3=2$ – класс 2 (верхняя граница: 220,211,121; нижняя граница: 221).

Для шкал составных критериев AK_2 и AK_3 получены такие градации оценок:

$y_2^1=0$ – класс 0 (верхняя граница: 000; нижняя граница: 001); $y_2^2=1$ – класс 1 (верхняя граница: 100,010; нижняя граница: 101,011); $y_2^3=2$ – класс 2 (верхняя граница: 110; нижняя граница: 111);

$y_3^1=0$ – класс 0 (верхняя граница: 00; нижняя граница: 00); $y_3^2=1$ – класс 1 (верхняя граница: 10,01; нижняя граница: 20,11,02); $y_3^3=2$ – класс 2 (верхняя граница: 21,12; нижняя граница: 22).

Рассмотрим теперь наборы всех оценок по составным критериям как объекты классификации следующего уровня, где классами решений C_1, \dots, C_5 являются градации оценок шкалы $Z=\{z^1, z^2, z^3, z^4, z^5\}$ составного критерия верхнего уровня иерархии. Аналогичным образом агрегируя показатели AK_1, AK_2, AK_3 , имеем:

z^1 – класс C_1 (верхняя граница: 000; нижняя граница: 000); z^2 – класс C_2 (верхняя граница: 100,010,001; нижняя граница: 110,101); z^3 – класс C_3 (верхняя граница: 200,020,011,002; нижняя граница: 211,121,202,112,022); z^4 – класс C_4 (верхняя граница: 220,212,122; нижняя граница: 221,212,122); z^5 – класс C_5 (верхняя граница: 222; нижняя граница: 222).

Таким образом, реальные альтернативы, имеющие оценки по исходным критериям, непосредственно относятся при классификации к сформированным классам решений. Отметим что для построения конечных классов решений C_1, \dots, C_5 потребовалось получить от ЛПР ответы на 16, 6 и 7 вопросов при формировании шкал Y_1, Y_2, Y_3 составных критериев AK_1, AK_2, AK_3 соответственно и ответов на 22 вопроса при формировании шкалы Z агрегированного критерия, что существенно меньше, чем при использовании других методов многокритериальной порядковой классификации.

Заключение

Предложен новый подход к решению задачи порядковой классификации альтернатив, оцененных по многим критериям с вербальными шкалами. Применение процедуры иерархического агрегирования исходных показателей позволяет значительно снизить размерность признакового пространства, что существенно сокращает время, затраченное ЛПР на решение задачи. Важной особенностью разработанной процедуры является возможность сформировать разные наборы критериев, с тем, чтобы сравнить полученные результаты для разных вариантов классификации с целью оценки качества сделанного выбора.

Предлагаемый подход обеспечивает систематизацию имеющейся информации, анализ причин принятия окончательного решения, получение его обоснования. Разделение всех критериев на отдельные группы позволяет «распараллелить» решение задачи, что также дает ощутимую экономию времени. Процедура снижения размерности признакового пространства была использована при решении практических задач оценки банковских кредитов в зависимости от степени риска [Асанов и др., 2001а] и многокритериального выбора вычислительных кластеров [Ройзензон, 2005б].

Благодарности

Работа поддержана программами фундаментальных исследований президиума РАН «Фундаментальные проблемы информатики и информационных технологий» и ОИТВС РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем», Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 06-07-89352, 07-01-00515, 07-07-13546, 08-01-00247).

Список литературы

- [Асанов и др., 2001а] Метод многокритериальной классификации ЦИКЛ и его применение для анализа кредитного риска / А. А. Асанов, П. В. Борисенков, О. И. Ларичев, Е. В. Нарыжный, Г. В. Ройзензон // Экономика и математические методы. — 2001. — Т. 37, № 2. — С. 14–21.
- [Асанов и др., 2001б] Асанов А., Подлипский О. Опыт построения большой базы экспертных знаний // Методы поддержки принятия решений: Сборник трудов Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. О. И. Ларичева. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — С. 42–50.
- [Ларичев, 2006] Ларичев О. И. Вербальный анализ решений / Под ред. А. Б. Петровского. — М.: Наука, 2006. — 181 с.
- [Петровский и др., 1990] Петровский А. Б., Шепелев Г. И. Система поддержки принятия решений для конкурсного отбора научных проектов // Проблемы и методы принятия уникальных и повторяющихся решений. Сборник трудов / Под ред. С. В. Емельянова, О. И. Ларичева. - № 10. М.: ВНИИСИ, 1990.- С. 25-31.
- [Ройзензон, 2005а] Ройзензон Г. В. Способы снижения размерности признакового пространства для описания сложных систем в задачах принятия решений // Новости искусственного интеллекта. — 2005. — № 1. — С. 18–28.
- [Ройзензон, 2005б] Ройзензон Г. В. Многокритериальный выбор вычислительных кластеров // Методы поддержки принятия решений: Сборник трудов Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. С. В. Емельянова, А. Б. Петровского. — М.: Эдиториал УРСС, 2005. — Т. 12. — С. 68–94.
- [Greco et al., 2002] Greco S., Matarazzo B., Slowinski R. Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria // European Journal of Operational Research. — 2002. — Vol. 138. — Pp. 247-259.
- [Köksalan et al., 2003] Köksalan M., Ulu C. An interactive approach for placing alternatives in preference classes // European Journal of Operational Research. — 2003. — Vol. 144, no. 2. — Pp. 429–439.
- [Roy et al., 1993] Roy B., Bouyssou D. Aide Multicritere a la decision: Methodes et cas — Paris: Economica, 1993. — 695 p.

Сведения об авторах

Петровский Алексей Борисович – д.т.н., зав. лабораторией Института системного анализа РАН, 117312, Россия, Москва пр-т 60 лет Октября, 9, ИСА РАН, тел. (495) 135-8503, e-mail: pab@isa.ru

Ройзензон Григорий Владимирович – научный сотрудник Института системного анализа РАН, 117312, Россия, Москва пр-т 60 лет Октября, 9, ИСА РАН, тел. (495) 135-8503, e-mail: rgv@isa.ru

ОБОБЩЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ В СЦЕНАРНОМ АНАЛИЗЕ

Михаил Стернин, Геннадий Шепелёв

Аннотация: Показано, что метод обобщенных интервальных оценок (ОИО), первоначально предназначенный для выявления и формализованного представления экспертных знаний об известных с неопределенностью количественных исходных данных моделей интеллектуальных систем поддержки экспертных решений (СПЭР), можно рассматривать как развитие сценарного подхода в теории принятия решений. Предложены процедуры исследования методом ОИО задач с зависимыми параметрами, таких как задача прогнозирования объемов извлекаемых запасов месторождений в зависимости от уровней цены на углеводороды. Установлены аналитические соотношения для функций распределения вероятностей обобщенных равномерных распределений, используемых в сценарном анализе и анализе результирующих показателей моделей включенных в базу моделей СПЭР.

Ключевые слова: Обобщенные интервальные оценки, сценарный анализ, системы поддержки экспертных решений, обобщенные распределения вероятностей.

ACM Classification Keywords: H.4.2 Types of Systems – Decision support; G.3 Probability and Statistics – Distribution functions.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

В различных областях экономической деятельности распространены ситуации, когда решения принимаются с учетом прогнозных значений ключевых показателей, характеризующих анализируемую проблему. Во многих случаях такие ключевые показатели получаются как решения уже существующих («объективных») моделей предметных областей, к которым относится изучаемая проблемная ситуация. С усложнением исследуемых проблем, увеличением числа и значимости междисциплинарных задач значительно возросла роль специалистов-экспертов в качестве источника оценок исходных данных таких моделей. Потребность в эффективном регулярном использовании интеллектуальных ресурсов экспертов материализуется в системах поддержки экспертных решений (СПЭР).

В большинстве практических прикладных задач исходные данные (параметры) моделей являются числовыми величинами, измеримыми в количественных шкалах. Зачастую, однако, из-за наличия неопределенности, описание таких ситуаций «точечными» величинами (оценками, задаваемыми для каждого параметра одним числом) оказывается неадекватным достижению желаемой цели – расчету значений результирующих показателей исследуемой задачи в виде, способствующем принятию обоснованных решений.

Исходные данные V , таким образом, представляются интервалами («интервальными числами») $[V_l, V_r]$, задаваемыми их левыми V_l и правыми V_r границами. Результирующие показатели, рассчитанные на объективных моделях предметной области, которые связывают исходные данные с показателями, также оказываются теперь интервальными числами. Подобного рода ситуации, когда исходные параметры представлены как интервалы, типичны для естественных, инженерно-технических наук и техники, где измерения принципиально присуща некоторая погрешность, которую требуется учитывать в дальнейших расчетах, в том числе в расчетах искомых значений непосредственно неизмеримых величин. В экономических исследованиях, бизнесе в виде интервальных чисел могут быть представлены

прогнозируемые параметры, при этом погрешности значения параметров, отвечающие прошлым и текущему моментам времени, могут быть известны вполне точно.

Для числовых исходных данных их интервальное задание отвечает ситуации с наибольшей неопределенностью. Диапазоны полученных в результате расчетов допустимых изменений значений результирующих показателей моделей оказываются при этом, как правило, чрезвычайно широкими. Этот недостаток частично устраняется, а возможности количественного, математического анализа исходных данных становятся гораздо богаче, если эксперт в дополнение к интервальной оценке параметра выдвинет гипотезы о шансах на реализацию тех или иных значений в заданном интервале $[V_i, V_f]$.

В рамках теоретико-вероятностных методов параметры задачи рассматриваются как случайные величины с распределениями вероятностей, отражающими представления экспертов о шансах на возникновение тех или иных диапазонов значений параметров. Расчеты результирующих показателей осуществляются методом статистических испытаний, а при принятии решений используются дихотомические оценки, разделяющие весь интервал возможных значений результирующего показателя на две части, - одну, содержащую все исходы, классифицируемые экспертом как благоприятные, и другую, включающую все неблагоприятные случаи. Такой оценкой в теоретико-вероятностной картине является пара $(L, P(R \geq L))$, где L - некоторое граничное значение результирующего показателя R , анализируемое в данный момент экспертом, а $P(R \geq L)$ - вероятность того, что в «игре с природой» реализуются лишь благоприятные возможности, то есть такие, значения результирующего показателя R для которых превосходят L . (Здесь предполагается, что увеличение значений результирующего показателя увеличивают привлекательность возможных исходов для эксперта). Например, извлекаемые запасы углеводородов, окажутся больше, чем заданное экспертом их значение, или реализуются исходы, стоимостные оценки которых превосходят желаемую граничную величину, и т.д. Результаты расчетов представляются обычно графиком $(L, P(R \geq L))$. Задаваясь отвечающим его предпочтениям значением вероятности получения «гарантированного» результата, специалист-эксперт может тогда найти соответствующую величину ключевого показателя (или наоборот) и принять рациональное решение.

Метод обобщенных интервальных оценок

В работах [1 – 4] нами предложен и развит новый метод выявления и обработки экспертных знаний об известных с неопределенностью исходных данных моделей различных предметных областей, метод обобщенных интервальных оценок (ОИО). Метод распространяет представленный во введении известный подход к учету неопределенности количественных параметров, состоящий в (моно) интервальном задании экспертом области возможных значений исходных данных вместе с распределением вероятностей их реализации, на случай совокупности интервалов, характеризующей неполноту экспертных знаний о длине и положении интервала-оценки.

На трудности, с которыми сталкивается эксперт при необходимости задания интервала-оценки в рамках моноинтервального подхода, указано в работе [5]: интервал излишнего размаха снижает ценность знаний эксперта, а слишком суженный интервал довольно часто ведет к ошибкам предсказания. Метод ОИО, позволяющий эксперту не ограничиваться при оценке параметра единственным интервалом, снимает указанное противоречие и дает эксперту возможность более гибко и полно отразить его знания. Потребность в подобном методе проявилась для нас при решении прикладных задач прогнозирования перспективности слабо разведанных месторождений углеводородов.

Простейший пример ОИО доставляет ситуация, когда эксперт задает в качестве начальной оценки параметра какой-либо интервал, а затем «размывает» его (не обязательно симметрично) в обе стороны от границ, выражая таким образом неопределенность своих знаний об интервальной оценке параметра. При таком подходе естественно считать, что и интервалы, промежуточные между начальным и получившимся в результате размывания, также входят в совокупность интервалов и характеризуют знания эксперта о параметре. Для более точного и наглядного отображения такой совокупной оценки входящие в

нее интервалы представляют в виде криволинейной трапеции на плоскости (V, α) . Ось ординат $\alpha \in [0, 1]$ служит осью меток упорядоченных левых границ интервалов совокупности. Наибольшему основанию («базовый» интервал) трапеции соответствует $\alpha = 0$, а наименьшему («мини» интервал) отвечает $\alpha = 1$. Полученная конструкция названа нами полиинтервальной оценкой (ПИО) параметра, она определяется положением и длинами минимального и базового интервалов совокупности и формой боковых границ трапеции. В приложениях эксперты выбирают эти границы, как правило, прямолинейными. Пример простейшей ПИО для совокупности вложенных интервалов показан на рисунке 1, где V_{ld} (V_{rd}) и V_{lu} (V_{ru}) левая (правая) граница базового и мини интервалов соответственно.

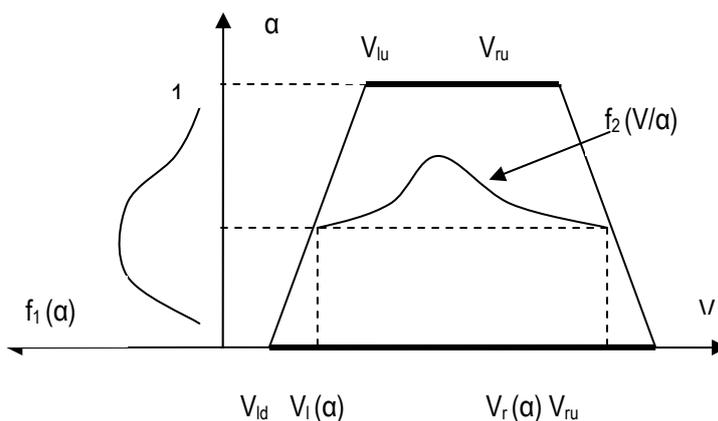


Рис.1. ОИО на вложенных интервалах.

Задание экспертом распределений $f_1(\alpha)$ на α («шансов» реализации интервалов-сценариев) и $f_2(V/\alpha)$ на V превращают ПИО в обобщенную интервальную оценку. В общем случае на разных (по α) полосах ПИО $f_2(V/\alpha)$ могут принадлежать к разным семействам распределений.

Метод ОИО может быть использован в двух направлениях. Во-первых, для каждого исходного параметра модели метод ОИО позволяет получить, в соответствии с соотношениями (1), усредненное распределение вероятности $f(V)$ на базовом интервале и тем самым свести задачу расчета результирующих показателей моделей к известному моноинтервальному случаю.

$$f(V) = \begin{cases} \int_0^{\alpha_l(V)} f_1(\alpha) f_2(V|\alpha) d\alpha, & V \in [V_{ld}; V_{lu}) \\ \int_0^1 f_1(\alpha) f_2(V|\alpha) d\alpha, & V \in [V_{lu}; V_{ru}) \\ \int_0^{\alpha_r} f_1(\alpha) f_2(V|\alpha) d\alpha, & V \in [V_{ru}; V_{rd}) \end{cases} \quad (1)$$

Для прямолинейных боковых границ ПИО $\alpha_l(V) = \frac{V - V_{ld}}{V_{lu} - V_{ld}}$, $\alpha_r(V) = \frac{V_{rd} - V}{V_{rd} - V_{ru}}$.

Во-вторых, для исходных параметров и результирующих показателей моделей методом ОИО могут быть получены оценки в виде «вероятностных границ» и «обобщенных вероятностных трубок», использующие всю совокупность полученных от эксперта знаний, а не только их усредненное выражение. В вероятностных трубках отражена информация о вариабельности вероятностных распределений на всех интервалах ОИО. Обобщенные трубки максимального размаха с достоверностью содержат в себе все возможные, с точностью до знаний эксперта, значения оцениваемых показателей моделей и

соответствующих вероятностей. Трубки суженного, по сравнению с максимальным, размаха содержат эту информацию с известной вычислимой степенью уверенности. Эта возможность была использована при прогнозировании методом ОИО объемов запасов углеводородов слабо разведанных месторождений [8]. Так для расчетов, результаты которых приведены на рис. 2., величина доказанных запасов, то есть запасов, определяемых на уровне $P = 0,9$, в обобщенной трубке максимального размаха находится в диапазоне 24 - 32 млн. т., а в суженной трубке, представленной на рисунке, величина доказанных запасов с уверенностью 80% находится в диапазоне 26 - 30 млн. т. При необходимости методом ОИО могут быть рассчитаны не только отдельные трубки, отвечающие заданным степеням уверенности, но и распределения вероятностей на соответствующих интервалах в границах трубки максимального размаха при фиксированных уровнях запасов, с одной стороны, или фиксированном уровне вероятности, с другой стороны.

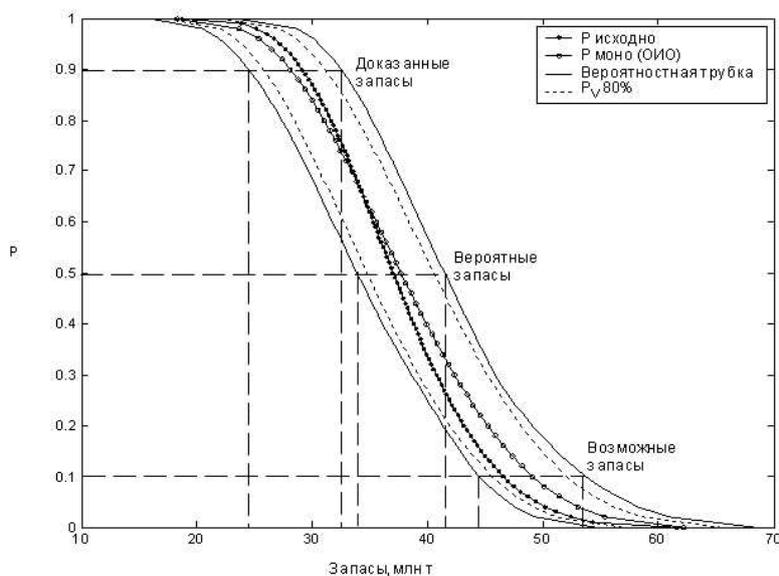


Рис. 2. Результаты расчетов объемов запасов углеводородов методом ОИО

Обобщенные интервальные оценки в сценарном анализе

В теории и практике принятия решений распространен сценарный подход к анализу сложных слабо структурированных проблем. Сценарный подход предполагает, что развитие ситуации может происходить разными путями, при этом ни один из путей не является predetermined. Именно неопределенность развития ситуации, зависимость реализации того или иного сценария не только от внутренней логики исследуемой проблемы, но и от внешних факторов, необходимость учета мнения экспертов, необходимость вести активный диалог с экспертом на языке, максимально приближенном к его профессиональному языку породили сценарный подход. Методы, применяемые в настоящее время в сценарном анализе используют конечное число сценариев, каждый из которых требуется предварительно подготовить, что представляет собой самостоятельную, временами сложную, задачу. Более простым представляется подход с непрерывным числом исходных альтернатив-сценариев, когда их множество задается указанием его границ. Аналогична ситуация с подходом дискретной оптимизации, в рамках которой осуществляется выбор наилучшей альтернативы из числа заранее сформированных и предъявленных для анализа альтернатив (при этом нет никакой уверенности, что среди исходного множества альтернатив имеются «хорошие» варианты), и линейно-программным подходом.

В методе ОИО интервалы их совокупности в ПИО допускают интерпретацию, при которой они трактуются как возможные сценарии реализации исходного параметра или результирующего показателя, а распределение на оси ординат ПИО задает «веса» сценариев. Таким образом, наряду с возможностями рассмотренными ранее, метод ОИО может служить и методом сценарного анализа в теории принятия

решений. Именно, ОИО представляет собой вероятностную смесь бесконечного числа связанных случайных величин, каждая из которых соответствует возможному сценарию развития ситуации с известной вероятностью его реализации.

В русле развития метода сценариев теории принятия решений в подходе ОИО следует указать, прежде всего, возможности анализа задач, результирующие показатели которых зависят от значений факторов «окружающей среды», задач с зависимыми переменными. Надо при этом иметь в виду, что если в первоначальной схеме ось ординат ПИО служила осью «меток» интервалов-сценариев и не имела самостоятельного «физического» смысла, в сценарном подходе обе оси ПИО несут смысловую нагрузку. Это позволяет анализировать в условиях неопределенности задачи типа «что, если?», выявляя зависимость значений интересующих эксперта показателей от состояния «окружающей среды», например, зависимость величины коммерческих извлекаемых запасов нефти от прогнозных значений цен на нее.

Напомним, что реальным работам по освоению месторождений углеводородов предшествует разносторонняя оценка их запасов. Одна из таких оценок связана с оценкой объемов нефти, фактически находящихся в пласте, или геологических запасов. Однако, горно-геологические условия месторождения, а также используемые, в том числе, перспективные, технологии нефтедобычи не позволяют извлечь всю нефть, содержащуюся в пласте. Поэтому в составе геологических запасов выделяют так называемые извлекаемые запасы. Обеим упомянутым оценкам присуща значительная неопределенность на всех этапах освоения месторождения. В сущности, никогда нельзя точно узнать размеры геологических запасов, а объемы извлекаемых запасов реально определяются «по факту», - после прекращения добычи. Поэтому обе эти оценки имеют гораздо меньшее практическое значение, чем оценка величины той части запасов, извлечение которой будет экономически оправдано. Их иногда называют коммерческими извлекаемыми запасами. При оценке коммерческих извлекаемых запасов к неопределенностям, присущим оценкам геологических и извлекаемых запасов, добавляются неопределенности финансово-экономической природы. В отсутствии надежной информации о прогнозной величине существенных параметров, влияющих на размеры коммерческих извлекаемых запасов, важную роль в процессе первоначальной оценки играют суждения экспертов и сценарный анализ. Удобным инструментом проведения такого экспертного анализа может служить метод ОИО. При этом каждой точечной оценке цены на оси ординат ПИО соответствует интервальная оценка запасов на оси абсцисс, и, в соответствии с содержанием задачи, ПИО строится на системе не вложенных, а смещенных интервалов. Результатом решения будет вероятностная кривая, показывающая шансы наличия в месторождении осредненных по прогнозируемому диапазону цен коммерческих запасов, в объемах, интересующих эксперта. Аналогичным образом может быть решена обратная задача, задача об определении распределения гарантированных результатов для цен, осредненного по прогнозируемым объемам углеводородов, выставленных на продажу. Конечно, этими задачами далеко не исчерпывается перечень задач с зависимыми переменными, моделирование которых возможно в подходе ОИО. Их решение требует развития математического аппарата ОИО, в дополнение к предложенному ранее, и включения новых результатов в базу моделей СПЭР.

Поли- и обобщенные интервальные оценки в задачах с зависимыми переменными

В задачах с зависимыми переменными V , как и раньше, значения анализируемого параметра или показателя, а α – значения внешнего фактора, влияющего на V , $\alpha \in [\alpha_m, \alpha_M]$, где $\alpha_{m(M)}$ – минимальное (максимальное) значение α соответственно. ПИО задается четверкой V_{ld} (нижняя левая граница ПИО), V_{rd} (нижняя правая граница ПИО), V_{lu} (верхняя левая граница ПИО), V_{ru} (верхняя правая граница ПИО), отношения между ними определяют форму ПИО, $D = V_{rd} - V_{ld}$, $U = V_{ru} - V_{lu}$. Все возможные формы ПИО для случая $D \neq 0$, $U \neq 0$ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Формы ПИО для $D \neq 0, U \neq 0$

Формы ПИО	Отношения между граничными точками ПИО
1	$V_{ld} < V_{lu} < V_{rd} < V_{ru}$
2	$V_{ld} < V_{rd} < V_{lu} < V_{ru}$
3	$V_{ld} < V_{lu} < V_{ru} < V_{rd}$
4	$V_{lu} < V_{ld} < V_{rd} < V_{ru}$
5	$V_{lu} < V_{ld} < V_{ru} < V_{rd}$
6	$V_{lu} < V_{ru} < V_{ld} < V_{rd}$

Для каждого интервала-сценария ПИО плотность совместной функции распределения $f(\alpha, V)$ имеет вид $f(\alpha, V) = f_1(\alpha)f_2(V|\alpha)$. Ранее для ПИО простейшей формы нами получены аналитические формулы для усредненных результирующих функций распределения, получаемых из совместных функций распределения ОИО, для ряда практически важных комбинаций исходных функций на осях ПИО, таких как «равномерное – равномерное» [6], «равномерное – треугольное», «треугольное – равномерное» и «треугольное – треугольное». Эти распределения представляют собой математические объекты, обобщающие традиционные вероятностные распределения. Они имеют как самостоятельную значимость, так и находят применение в приложениях. В задачах с зависимыми параметрами многообразие возможных форм ПИО приводит к появлению целого семейства обобщенных равномерных распределений. При нахождении осредненных распределений вероятностей $f(V)$ следует учесть, что при $D \neq 0, U \neq 0$ области интегрирования в соотношениях, аналогичных соотношениям (1), разбиваются для ПИО всех форм на три связанных подобласти, своих для каждой ПИО (Таблица 2).

Таблица 2. Функции осредненных распределений вероятностей для $D \neq 0, U \neq 0$

Подобласти ПИО	Плотность для $D \neq U$	Плотность для $D = U$
1.1: $V_{ld} \leq V < V_{lu}$	$P(V < V_S) = F_1$	$P(V < V_S) = G_1$
1.2: $V_{lu} \leq V \leq V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_2$
1.3: $V_{rd} < V \leq V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_3$	$P(V < V_S) = G_3$
2.1: $V_{ld} \leq V < V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_1$	$P(V < V_S) = G_1$
2.2: $V_{rd} \leq V \leq V_{lu}$	$P(V < V_S) = F_4$	$P(V < V_S) = G_4$
2.3: $V_{lu} < V \leq V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_3$	$P(V < V_S) = G_3$
3.1: $V_{ld} \leq V < V_{lu}$	$P(V < V_S) = F_1$	$P(V < V_S) = 0$
3.2: $V_{lu} \leq V \leq V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_5$
3.3: $V_{ru} < V \leq V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_5$	$P(V < V_S) = 0$
4.1: $V_{lu} \leq V < V_{ld}$	$P(V < V_S) = F_6$	$P(V < V_S) = 0$
4.2: $V_{ld} \leq V \leq V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_5$
4.3: $V_{rd} < V \leq V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_3$	$P(V < V_S) = 0$
5.1: $V_{lu} \leq V < V_{ld}$	$P(V < V_S) = F_6$	$P(V < V_S) = G_6$

5.2: $V_{ld} \leq V \leq V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_2$	$P(V < V_S) = G_2$
5.3: $V_{ru} < V \leq V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_5$	$P(V < V_S) = G_7$
6.1: $V_{lu} \leq V < V_{ru}$	$P(V < V_S) = F_6$	$P(V < V_S) = G_6$
6.2: $V_{ru} \leq V \leq V_{ld}$	$P(V < V_S) = F_7$	$P(V < V_S) = G_8$
6.3: $V_{ld} < V \leq V_{rd}$	$P(V < V_S) = F_5$	$P(V < V_S) = G_7$

Здесь

$$F_1 = \frac{1}{D-U} \left[V_S - V_{ld} + \frac{D(V_{lu} - V_S) + U(V_S - V_{ld})}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{D(V_{lu} - V_S) + U(V_S - V_{ld})}{D(V_{lu} - V_{ld})} \right],$$

$$F_2 = \frac{1}{D-U} \left[V_{lu} - V_{ld} + \frac{D(V_{lu} - V_S) + U(V_S - V_{ld})}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{U}{D} \right],$$

$$F_3 = \frac{1}{D-U} \left[D + V_{lu} - V_S + \frac{D(V_S - V_{ru}) + U(V_{rd} - V_S)}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{D(V_S - V_{ru}) + U(V_{rd} - V_S)}{D(V_{rd} - V_{ru})} \right],$$

$$F_4 = \frac{1}{D-U} \left[D + \frac{D(V_{ru} - V_S) + U(V_S - V_{rd})}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{V_{ru} - V_{rd}}{V_{lu} - V_{ld}} \right],$$

$$F_5 = \frac{1}{D-U} \left[V_S - V_{ld} - U + \frac{D(V_{ru} - V_S) + U(V_S - V_{rd})}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{D(V_{ru} - V_S) + U(V_S - V_{rd})}{D(V_{ru} - V_{rd})} \right],$$

$$F_6 = \frac{1}{D-U} \left[V_{lu} - V_S + \frac{D(V_S - V_{lu}) + U(V_{ld} - V_S)}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{D(V_S - V_{lu}) + U(V_{ld} - V_S)}{U(V_{ld} - V_{lu})} \right],$$

$$F_7 = \frac{1}{D-U} \left[-U + \frac{D(V_S - V_{ru}) + U(V_{rd} - V_S)}{D-U} \operatorname{Ln} \frac{V_{rd} - V_{ru}}{V_{ld} - V_{lu}} \right],$$

$$G_1 = (V_S - V_{ld})^2 / [2D(V_{lu} - V_{ld})],$$

$$G_2 = (2V_S - V_{ld} - V_{lu}) / (2D),$$

$$G_3 = 1 - (V_{ru} - V_S)^2 / [2D(V_{ru} - V_{rd})],$$

$$G_4 = (2V_S - V_{rd} - V_{ld}) / [2(V_{lu} - V_{ld})],$$

$$G_5 = (V_S - V_{ld}) / D,$$

$$G_6 = (V_S - V_{lu})^2 / [2D(V_{ld} - V_{lu})],$$

$$G_7 = 1 - (V_S - V_{rd})^2 / [2D(V_{rd} - V_{ru})],$$

$$G_8 = (2V_S - V_{ru} - V_{lu}) / [2(V_{ld} - V_{lu})]$$

Получены также соответствующие аналитические соотношения для плотностей осредненных распределений вероятностей при $D \neq 0$, $U \neq 0$ и соотношения для осредненных плотностей и распределений вероятностей при $D = 0$ или $U = 0$ (ПАО треугольной формы).

Заключение

Возникающее в задачах с зависимыми переменными «равноправие» осей ПАО позволяет, кроме исходной ОИО, построить дополнительную ОИО на оси ординат, оси цен в задаче о запасах, более полно учитывающую возможную неопределенность оценки «внешних факторов» (прогноза цен). Для реализации этой возможности и использования в анализе распределений вероятностей, отличных от обобщенных

равномерных распределений, в разработанной нами экспериментальной версии СПЭР имеется алгоритм, осуществляющий расчеты результирующих распределений по заданной экспертом ПИО, форма которой адекватна его суждениям.

Благодарности

Настоящая работа частично поддержана программами фундаментальных исследований президиума РАН «Фундаментальные проблемы информатики и информационных технологий» и ОИТВС РАН «Фундаментальные основы информационных технологий и систем», Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 08-01-00247, 06-07-89352, 07-01-00515).

Библиография

1. Shepelyov G., M.Sternin. Method of Generalized Interval Estimations for Intelligent DSS. // DSS in the Uncertainty of the Internet Age. The Karol Adamiecki University of Economics in Katowice, Katowice, 2003, pp. 367-377.
2. Стернин М.Ю., Чугунов Н.В., Шепелёв Г.И. Модели предметных областей в компьютерных системах, основанных на знаниях // Методы поддержки принятия решений. Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН). Том 12. Емельянов С.В., Петровский А.Б. (Ред.). М.: Едиториал УРСС, 2005. С. 95 – 113.
3. Chugunov N., Shepelyov G., Sternin M. A method for uncertainty quantification in expert decision support systems. Papers from the IFIP WG8.3 International conference on creativity and innovation in decision making and decision support. Vol. 2, pp.851 – 865. Ldn.: Ludic Publ. 2006.
4. Shepelyov G., Sternin M. The new method of Generalized Interval Estimations in problems under uncertainty // Advances in Decision Technology and Intelligent Information Systems / Ed. by K. J. Engemann, G. E. Lasker. — Vol. 8. — Windsor: The International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, 2007. — Pp. 11–15.
5. Kahneman D., Slovic P., Tversky A. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. Cambridge. Cambridge university press. 1982.
6. Стернин М. Ю., Шепелев Г. И., Шепелев Н. Г. Свойства обобщенного равномерного распределения вероятностей // Вторая международная конференция “Системный анализ и информационные технологии” (САИТ-2007). Труды конференции в 2 т. — Т. 1. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. — С. 239–242.

Информация об авторах

Михаил Стернин – Старший научный сотрудник Института системного анализа РАН. Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, ИСА РАН; e-mail: mister@isa.ru

Геннадий Шепелёв – Заведующий лабораторией Института системного анализа РАН. Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, ИСА РАН; e-mail: gis@isa.ru

КОМБИНИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ МУРАВЬИНЫМИ КОЛОНИЯМИ И *N*-МЕТОДА*

Леонид Гуляницкий, Сергей Сиренко

Аннотация: Предлагается метаэвристический метод комбинаторной оптимизации, который базируется на двух популяционных алгоритмах – оптимизации муравьиными колониями и *N*-методе. Метод оптимизации муравьиными колониями представляет класс методов роевого интеллекта и успешно применяется к сложным задачам комбинаторной оптимизации. Он является многоагентной оптимизационной системой с распределенной непрямой формой общения между агентами. Метаэвристика *N*-метода использует определенные аналогии с известным в недифференцируемой непрерывной оптимизации методом Нелдера-Мида, применяя в процессе поиска оптимального решения специальным образом определенные отрезки. Эффективность предложенного подхода проиллюстрирована на основе результатов вычислительного эксперимента по решению ряда задач коммивояжера.

Ключевые слова: комбинаторная оптимизация, метаэвристики, популяционные методы, оптимизация муравьиными колониями, *N*-метод, задача коммивояжера.

ACM Classification Keywords: G.1.6 [Numerical Analysis] Optimization – Stochastic programming, G.2.1 [Discrete Mathematics] Combinatorics – Combinatorial algorithms, I.2.8 [Artificial Intelligence]: Problem Solving, Control Methods, and Search – Heuristic methods.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Задачи комбинаторной оптимизации (КО) возникают во многих областях применения вычислительных методов, в частности, таких как искусственный интеллект, исследование операций, биоинформатика, планирование, маршрутизация, составление расписаний, распределении ресурсов и т. д. Одними из наиболее известных задач КО являются задача коммивояжера, квадратичная задача о назначении, задача выполнимости высказываний [1]. Большинство практически важных задач КО относится к числу *NP*-трудных, что, наряду с возможными погрешностями в задании исходных данных и существенным количеством локальных минимумов целевой функции, делает нецелесообразными использование точных алгоритмов решения ввиду значительных вычислительных затрат. Эти и другие аспекты, а также прогресс в разработке высокопроизводительных средств вычислительной техники обусловили интенсивное развитие в последние годы класса приближенных методов, которые получили название метаэвристических [2]. Многие из этих методов сравнительно просты в описании и реализации, будучи способными при этом эффективно решать реальные задачи с повышенной эффективностью. Хотя метаэвристические методы в ряде случаев уступают по точности специальным методам решения отдельных задач КО, в силу своей структуры и гибкости они позволяют создавать на основе единой вычислительной схемы алгоритмы решения довольно широкого класса задач с приемлемой для практики трудоемкостью. На создание многих таких методов исследователей натолкнули разнообразные природные механизмы (например, такие как механизм эволюции или поведение социальных насекомых). Несмотря на отсутствие на данный момент общепринятого формального определения, метаэвристические методы можно понимать как комбинацию двух техник: общая схема строится на

* Исследования проведены при частичной поддержке INTAS (проект 06-100017-8909)

базовом методе, в которую включается та или иная встроенная процедура. Важным аспектом есть то, что встроенная процедура – это в большинстве случаев самостоятельный алгоритм решения той же задачи, что и метаэвристический метод в целом. Многие из разработанных метаэвристических методов относятся к классу популяционных алгоритмов [2], т.е. алгоритмов, в которых, в отличие от траекторных, на каждой итерации обрабатывается не один, а сразу несколько вариантов решения.

Ниже предлагается и анализируется метаэвристический метод решения задач КО, который разработан на основе комбинации двух популяционных подходов: оптимизации муравьиными колониями и H -метода.

Определение задачи комбинаторной оптимизации

Приведем формальное определение задачи КО [3]. Пусть заданы $Y=\{1, \dots, m\}$, Z – дискретное, в частности, конечное пространство (назовем его образующим), φ – гомоморфизм, $\varphi: Y \rightarrow Z$, удовлетворяющий некоторой системе ограничений Ω . Напомним, что под дискретным пространством понимается множество, состоящее из изолированных точек.

Определение 1. Под комбинаторным объектом κ будем понимать триаду $\kappa = (\varphi, \tilde{X}, \Omega)$, где $\varphi: Y \rightarrow \tilde{X}$, а \tilde{X} – определенное базовое пространство.

Определение 2. Задачей КО, называется задача нахождения такого $x_* \in X$, что

$$x_* = \arg \min_{x \in D \subseteq X} f(x).$$

где X – пространство решений задачи, элементами которого являются комбинаторные объекты, D – его подпространство, определяемое ограничениями задачи Ω , $f: X \rightarrow \mathbb{R}^1$ – заданная целевая функция задачи.

Общая схема H -метода

В ряде развитых алгоритмов КО во избежание концентрации поиска в ограниченной подобласти пространства решений задачи X и повышения точности получаемых решений используются процедуры возмущения (как в повторяющемся локальном поиске [4]) или скрещивания и мутации, как, например, в генетических алгоритмах (ГА) или меметических алгоритмах (МА) [1]. Заметим, что подобные процедуры порождают подмножества вариантов решения, которые не согласованы с топологией пространства X . В то же время, примером подобного согласования является метод деформированных многогранников [6], развитием которого является H -метод. Осуществляемое в нем использование специальных отрезков дает возможность синтезировать поиск в окрестностях и глобальное сканирование пространства решений X , причем процедура сканирования, в отличие от общих операторов возмущения или рекомбинации в большинстве других метаэвристических методов, определена конкретно.

Приведем определение понятие d -отрезка [6], соединяющего две произвольные точки $x, y \in X$, если $X = (X, d)$ – метрическое пространство с метрикой d .

Определение 3. Назовем d -отрезком $/x, y/$, $x, y \in X$, упорядоченную совокупность точек $x_i \in X$, $i = 1, \dots, k$, которые удовлетворяют условию: $d(x, x_i) + d(x_i, y) = d(x, y)$ для всех $i = 1, \dots, k$, причем $x_1 = x$, $x_k = y$, а $d(x, x_i) < d(x, x_{i+1})$, $i = 1, \dots, k - 1$; при этом не существует точки $z \in X$ такой, что $d(x_i, z) + d(z, x_{i+1}) = d(x, x_{i+1})$, $z \neq x_i$, $z \neq x_{i+1}$, $i = 1, \dots, k - 1$.

Определение 4. Назовем d -интервалом $\langle x, y \rangle$ упорядоченную совокупность $/x, y/ \wedge \{x, y\}$, а d -полуинтервалом $\langle x, y /$ – множество $/x, y/ \wedge \{x\}$.

Дальше рассматриваются такие пространства вариантов решения X , для которых $d(x, y) = bh$ (b – натуральное, $h > 0$), причем если $d(x, y) > h$, то интервал $\langle x, y \rangle \neq \emptyset$. Суть подхода изложим в предположении, что $D \equiv X$, т.е. X будет играть роль пространства допустимых решений.

Вычислительная схема H -метода в терминах эволюционных вычислений представлена на рис. 1 [6], где `Local_Search` – функция, осуществляющего поиск локального оптимума.

```

procedure  $H(x)$ ;
begin
     $h := 0; P^0 := \emptyset$ ;
    for  $i:=1$  to  $m$  do
         $x :=$  некоторый начальный вариант решения;
         $P^0 := P^0 \cup \text{Local\_Search}(x)$ ;
    end for;                                     {сформирована начальная популяция  $P^0$ }
    repeat
         $P := P^h$ ;
        for  $i:= 1$  to  $k$  do
            ОтборДляВариации ( $x, y \in P$ );
            ПостроениеПолуинтервала  $\langle x, x^\infty / : y \in \langle x, x^\infty / \& f(x) > f(y)$ ;
             $z := \arg \min \{f(u) : u \in \langle x, x^\infty / \setminus L(y), y \in \langle x, x^\infty / \}$ ;
             $P := P \cup \text{Local\_Search}(z)$ ;
        end for;                                 {сформирована временная популяция из  $m+k$  точек}
        for  $i:=1$  to  $l$  do
            ОтборДляМутации ( $x \in P$ );
             $z :=$  Мутация ( $x$ , предыстория);
             $P := P \cup \text{Local\_Search}(z)$ ;
        end for;                                 {сформирована временная популяция из  $m+k+l$  точек}
         $P^{h+1} :=$  ОтборПопуляции ( $P$ );
         $h := h+1$ ;
    until не выполняется условие завершения;
     $x := \arg \min \{f(u) : u \in P\}$ ;
    return  $x$ ;
end

```

Рисунок 1. Схема H -метода

Основные параметры H -метода (в терминах эволюционных вычислений):

m – число индивидов в популяции;

k – количество пар индивидов, выбираемых для исследования (проведения полуинтервалов от текущей точки до максимально удаленной и поиска минимума на этих прямых);

l – количество индивидов, которые подлежат мутации;

$L(y)$ – окрестность, точки которой, находящиеся на построенном полуинтервале, исключаются из рассмотрения;

x^∞ – точка, максимально удаленная в пространстве вариантов решений от точки x (в случае большой трудоемкости нахождения минимума вдоль полуинтервала $\langle x, x^\infty /$ или бесконечности пространства X следует ввести дополнительный параметр, который ограничивал бы часть полуинтервала, подлежащую рассмотрению).

Как и в алгоритме повторяющегося локального поиска или МА [1], H -метод оперирует с локальными экстремумами. Их множество P играет роль, аналогичную популяции в ГА или МА – поэтому использованные в нем три процедуры отбора могут реализовываться по аналогии с эволюционными алгоритмами. Принципиальное отличие алгоритма H -метода – глобальный характер поиска в пространстве решений X путем нахождения субоптимального решения исходной задачи на основе решения для подзадач вида:
$$z = \arg \min_{u \in \langle x, x^\infty \rangle \cap L(y)} f(u) .$$

Оптимизация муравьиными колониями

В последние годы в КО активно развиваются методы так называемого роевого интеллекта, в которых совокупность сравнительно простых агентов конструирует стратегию своего поведения без наличия глобального управления [7]. Одним из широко известных роевых методов является метод оптимизации муравьиными колониями (ОМК). По аналогии с биологической моделью, ОМК базируется на непрямом обмене информацией колонии агентов, называемых искусственными муравьями, использующих феромонные следы как коммуникационное средство [8]. Феромонные следы в ОМК служат распределенной численной информацией, которая наряду с эвристической информацией о задаче используется муравьями для недетерминированного конструирования решений задачи и которую муравьи адаптивно изменяют для отображения опыта, накопленного в процессе поиска решения. ОМК может быть применена практически к любой задаче КО, которая допускает следующее представление [9,10]:

- дан конечный набор компонент решений $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{N_C}\}$;
- определены *состояния* проблемы s , $s = \langle c_i, c_j, \dots, c_k, \dots \rangle$, множество всех возможных последовательностей S и множество \tilde{S} всех последовательностей, которые удовлетворяют ограничением задачи Ω , при этом $D \subseteq \tilde{S}$ и $\tilde{S} \subseteq S$;
- с теми состояниями s , которые не являются решениями, можно ассоциировать стоимость или ее оценку $J(s)$ и при этом, если состояние s_1 можно получить добавлением компоненты решения к состоянию s_2 , то $J(s_2) \leq J(s_1)$ (отметим, что $J(x) = f(x)$);
- определен конечный набор L возможных соединений между элементами C на подмножестве \tilde{C} декартового произведения: $\tilde{C} \subseteq C \times C$;
- с компонентами $c_i \in C$ и соединениями $l_{ij} \in L$ ассоциируются феромонные следы, представляющие долговременную память о всем процессе поиска, которая изменяется непосредственно муравьями, и эвристические значения – они являются априорной информацией о конкретной задаче или информацией о времени выполнения, которая предоставляется отличным от муравьев источником.

При подобном представлении задачи каждый муравей k колонии имеет следующие свойства [9]:

- он использует граф $G = (C, L)$ для поиска оптимального решения, передвигаясь по соединениям из L ;
- он имеет память, которую использует для хранения информации о пройденном пути (память может использоваться для нахождения допустимых решений, для оценки найденного решения или для возвращения назад с целью размещения феромона);
- ему может быть присвоено *начальное состояние* и одно или больше завершающих условий e^k ;
- муравей k в состоянии $s_r = \langle s_{r-1}, i \rangle$ может переместиться в любой узел из множества допустимых соседних к нему узлов;
- переход осуществляется с помощью вероятностного правила решения, которое является функцией: (1) значений, которые хранятся в локальной для вершины структуре данных (называемой *таблицей муравьиных маршрутов*) и получены функциональной композицией локально доступных для вершины

феромонных следов и эвристических значений, (2) личной памяти муравья, которая хранит его предысторию, и (3) ограничений задачи;

- построение решения завершается, если выполняется, по крайней мере, одно из условий e^k ;
- добавив к текущему состоянию компоненту $c_i \in C$, муравей может обновить феромонный след на компоненте или соответствующем соединении (*онлайнное пошаговое обновление феромона*);
- найдя решение, муравей может пройти этот же путь назад и обновить феромонный след на использованных соединениях или компонентах (*онлайнное отсроченное обновление феромона*).

Важно отметить, что муравьи передвигаются одновременно и независимо, и каждый муравей достаточно сложен, чтобы быть в состоянии найти (вероятно, плохое в смысле целевой функции) решение данной задачи. Хорошие решения, обычно, появляются только в результате коллективного взаимодействия между муравьями, которое достигается путем непрямого общения посредством информации, которую муравьи записывают/считывают в переменные, содержащие значения феромонных следов. В известном смысле, это является распределенным процессом обучения, в котором отдельные агенты-муравьи, не адаптируются, а наоборот, адаптивно изменяют вид и восприятие задачи другими агентами.

Кроме деятельности муравьев, алгоритм ОМК включает еще две процедуры [9]: *испарение феромонного следа* и *действия демона*. Испарение феромона – это процесс, с помощью которого интенсивность феромонного следа на соединениях автоматически уменьшается со временем. Оно осуществляет полезную форму «забывания», содействуя исследованию новых областей в пространстве поиска и избеганию очень быстрой сходимости алгоритма к субоптимальной области. Другими словами, она не определяет следует ли их выполнять параллельно и независимо, или необходима какая-то форма их синхронизации – эти вопросы оставляются на усмотрение разработчика конкретного алгоритма, допуская свободу в определении способа взаимодействия этих процедур.

Главная процедура метаэвристики [9], представленной на рис. 2, – *Планирование Действий* не определяет, каким образом распланированы и синхронизированы *Деятельность Муравьев*, *Испарение Феромона* и *Действия Демона*.

Действия демона могут использоваться для осуществления централизованных действий, которые не могут быть выполнены отдельными муравьями. Например, активация процедуры локальной оптимизации или сбор глобальной информации, которая может быть использована для принятия решения: будет или не будет полезным откладывание дополнительного феромона для отклонения процесса поиска от локальной перспективы. Обновления феромона совершаемые демоном называется *оффлайнным обновлением феромона*.

procedure ОМК()

while (не_выполнено_условие_останова)

Планирование Действий

Деятельность Муравьев();

Испарение Феромона();

Действия Демона(); {необязательны}

end *Планирование Действий*

end while

end procedure

Рисунок 2. Метаэвристика алгоритма оптимизации муравьиными колониями

Метаэвристический метод на основе синтеза алгоритмов ОМК и H -метода

Предлагается новый метаэвристический метод КО ОМК_Н, который базируется на использовании идей двух описанных выше популяционных методов – ОМК и H -метода. Алгоритмы этого метода сохраняют положительные стороны обоих использованных подходов и является методом, который конкретизацией проблемно-зависимых частей позволяет решать как некоторый класс близких по постановке задач КО, так и задачи КО из разных классов.

Опишем пошаговую схему предложенного алгоритма, который назовем ОМК_Н методом.

Алгоритм ОМК_Н. Алгоритм характеризуется тем, что с точки зрения вычислительной структуры, схема H -метода является в некотором смысле встроенной в метод ОМК.

Шаг 1. Производятся стандартные для ОМК процедуры инициализации.

Шаг 2. Происходит построение муравьями решений. При этом онлайнное обновление феромона не производится.

Шаг 3. Решения передаются в H -метод, где формируют начальную популяцию. Выполняется алгоритм H -метода и полученные решения возвращаются в ОМК.

Шаг 4. Производится оффлайнное обновление феромона и действия демона. При этом локальный поиск в ОМК не включается.

Шаг 5. Производится проверка условий останова ОМК. В случае их выполнения возвращается лучшее найденное решение, иначе совершается переход на шаг 2.

С точки зрения структуры данное комбинирование агрегирует такие две альтернативы. С одной стороны, ОМК выступает генератором начальных популяций для H -метода и инициализирует выполнение этого метода до выполнения условий останова последнего. С другой стороны, H -метод выступает в качестве усложненной процедуры демона (вместо обычно используемых алгоритмов локального поиска) для улучшения решений, построенных очередным поколением муравьев. В зависимости от соотношения условий останова в ОМК и H -методе при реализации ОМК_Н, он может быть более близок к тому или другому исходному методу.

Целесообразность предложенного комбинирования можно обосновать такими соображениями. Во-первых, оба базовых метода представляют два принципиально отличных подхода исследования пространства решения: ключевой идеей ОМК является многоагентный поиск, а в основе H -метода лежит использование глобального сканирования пространства решений. Во-вторых, предложенное объединение согласовано с идеологией обоих методов. Поэтому комбинирование этих метаэвристических концепций потенциально повышает вероятность нахождения более точных решений.

Вычислительный эксперимент

Поскольку теоретические исследования алгоритмов КО крайне редко позволяют получать практически применимые результаты, принято анализировать показатели эффективности путем проведения вычислительных экспериментов. С этой целью обычно используют "классические" модели КО – такие, например, как задача коммивояжера (ЗК) [1]. Для исследования предложенного метода был проведен вычислительный эксперимент по решению серии задач коммивояжера, в котором он сравнивался с алгоритмом H -метода и одним из наиболее эффективных алгоритмов оптимизации муравьиными колониями решения задачи коммивояжера – алгоритмом $MMAS$ [11], реализация которого взята из пакета ACOTSP [12]. На основе предварительного анализа были выбраны такие значения параметров H -метода: $m = 50$, $k = 20$, $l = 0$, точка x^∞ и полуинтервал $< x, x^\infty /$ среди всех возможных определялись

случайным образом, окрестность $L(y)$ состояла только из точки y . В качестве функции Local_Search взята реализация алгоритма 3-opt [1] из пакета ACOTSP [12]. В алгоритме *MMAS* количество муравьев составляло 50, коэффициент испарения феромона [10,11] $\rho = 0.5$, в псевдослучайном пропорциональном правиле выбора [10,11], которое применяли муравьи при построении решений, были такие значения параметров $\alpha = 1$, $\beta = 2$. В качестве деятельности демона в алгоритме *MMAS* ко всем построенным муравьями решениям применялся алгоритм локального поиска 3-opt.

В табл. 1 приведены результаты 20 вариантов решения задач, взятых из известной Интернет-библиотеки TSPLIB [13]. Здесь число в названии задачи обозначает ее размерность, f^* – известное значение целевой функции в точке глобального минимума, f – лучшее найденное соответствующим алгоритмом значение целевой функции, δ – средняя относительная погрешность алгоритма (%), t_{lim} – ограничение на время работы алгоритма, t – среднее время, на протяжении которого алгоритмом было найдено лучшее решение на ПЭВМ класса Pentium-IV 2,66 ГГц (сек).

Таблица 1 Результаты решения ЗК

Задача	f^*	t_{lim} , сек	<i>MMAS</i>			<i>H</i>			ОМК_Н		
			f	$\delta, \%$	$t, \text{сек}$	f	$\delta, \%$	$t, \text{сек}$	F	$\delta, \%$	$t, \text{сек}$
a280	2579	2	2579	0,00	0,45	2579	0,00	0,27	2579	0,00	0,35
pcb442	50778	20	50778	0,24	12,33	50778	0,19	8,00	50778	0,18	9,19
rat783	8806	40	8806	0,11	27,12	8806	0,25	31,65	8806	0,18	31,54
d1291	50801	60	50828	0,19	37,09	50820	0,19	35,46	50801	0,15	33,80
pr2392	378032	80	380001	0,87	78,74	380761	0,93	78,98	379923	0,81	62,72

Как свидетельствуют результаты вычислений, во всех задачах, которые использовались в исследовании, ОМК_Н показал лучшие по точности результаты (либо одинаковые, в случае, когда все алгоритмы нашли оптимальное решение), при этом время работы было сравнимым или лучшим. Именно достижение повышения эффективности предложенного метода по сравнению с базовыми методами является важным, поскольку цель работы и заключалась в разработке и исследовании подхода, который может быть использован к широкому кругу задач КО. Отметим, что разработка эффективных алгоритмов решения ЗК, ввиду широкого круга ее практических применений и сложности, также является важным направлением исследований.

Заключение

Предложенный подход, который базируется на двух популяционных методах – оптимизации муравьиными колониями и *H*-методе, показал свою эффективность при экспериментальном исследовании. Комбинирование стратегий поиска, согласованное со структурой базовых методов, позволило достичь лучших показателей эффективности при решении ряда известных ЗК.

Важной целью дальнейших исследований может стать экспериментальное сравнение предложенного подхода с другими приближенными методами КО, а также получение теоретических условий сходимости и трудоемкости алгоритмов метода, предназначенных для решения конкретных классов задач КО. Целесообразно также исследовать вопросы эффективной реализации алгоритмов ОМК_Н на многопроцессорных вычислительных системах.

Список литературы

- [1] Hoos H.H., Stützle T. Stochastic Local Search: Foundations and Applications. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publ., 2005. – 658 p.
- [2] Blum C., Roli A. Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison // ACM Computing Surveys. – 2003. – 35, No. 3. – P. 268–308.
- [3] Гуляницкий Л.Ф., Сергиенко И.В. Метаэвристический метод деформированного многогранника в комбинаторной оптимизации // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №6. – С. 70-79.
- [4] Lourenço H. R., Martin O., Stützle T. Iterated local search // Handbook of Metaheuristics: International Series in Operations Research & Management Science, vol. 57 (Eds. F. Glover and G. Kochenberger). – Norwell: Kluwer Academic Publishers, MA, 2002. – P. 321–353.
- [5] Гуляницкий Л.Ф. Метод деформаций в дискретной оптимизации // Исследование операций и АСУ. – 1989. – Вып. 34. – С. 30–33.
- [6] Гуляницкий Л.Ф. Об одном метаэвристическом методе комбинаторной оптимизации // Компьютерная математика. – 2006. – № 2. – С. 1–6.
- [7] Kennedy J., Eberhart R. C. Swarm Intelligence. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers. – 2001. – 512 p.
- [8] Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. Positive feedback as a search strategy. – Milan: 1991. – (Tech. Rep. 91-016. Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica).
- [9] Dorigo M., Stützle T. The ant colony optimization metaheuristic: Algorithms, applications and advances. // Handbook of Metaheuristics: International Series in Operations Research & Management Science, vol. 57 (Eds. F. Glover and G. Kochenberger). – Norwell: Kluwer Academic Publishers, MA, 2002. – P. 251-285.
- [10] Dorigo M., Stützle T. Ant Colony Optimization. – Cambridge: MIT Press, MA, 2004. – 348 p.
- [11] Stützle T., Hoos H. Max – Min Ant System // Future Generation Computer Systems. – 2000. – № 8. – P. 889–914.
- [12] Stützle T. ACOTSP, Version 1.0 // <http://www.aco-metaheuristic.org/aco-code>. – 2004.
- [13] TSPLIB // <http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsplib.html>.

Об авторах

Леонид Гуляницкий (*Hulianytskyi*) – д.т.н., ведущий научный сотрудник Института кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, пр. Глушкова, 40, Киев, 03680, Украина. e-mail: lh_dar@hotmail.com

Сергей Сиренко (*Sirenko*) – аспирант, Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, пр. Глушкова, 40, Киев, 03680, Украина. e-mail: s.sirenko@gmail.com

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР УКРАИНЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Наталья Куссуль, Николай Ильин, Сергей Скакун, Алла Лавренюк

Аннотация: Оценка состояния растительности является одной из задач, для которой использование данных дистанционного зондирования Земли позволяет существенно снизить трудоемкость решения и получить качественно новые результаты. Решение в дальнейшем может быть использовано для задач прогнозирования урожайности, возникающих при экономическом планировании. В данной работе предлагаются методы оценки площади озимых культур и прогнозирования урожайности озимой пшеницы с использованием спутниковых данных.

Ключевые слова: прогнозирование урожайности.

ACM Classification Keywords: J.2 Physical sciences and engineering - Earth and atmospheric sciences, C.5.0 Computer system implementation – General.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Задачи оценки состояния растительности и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур составляют основу современных исследований в области точного земледелия [1] и экономического планирования в аграрной промышленности [2]. Наиболее перспективные направления исследований связаны с ассимиляцией данных дистанционного зондирования Земли в существующие модели развития растений и созданием новых методов на их основе [3].

Прикладное значение оценки состояния и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур выделено в ряде международных и национальных программ. Так, оценка состояния растительности в контексте систем поддержки принятия решений для проблем устойчивого развития и экономической безопасности определена приоритетным заданием международной «системы систем» GEOSS [3]. В рамках реализации Common Agricultural Policy [4] Европейским союзом поддерживается проект MARS (Monitoring Agriculture through Remote Sensing techniques) [5], результатом которого является получение прогноза урожайности основных сельскохозяйственных культур (для злаковых заявлена точность более 1 ц/га [6]).

В Украине система мониторинга состояния сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожайности на основе спутниковых данных разрабатывается в рамках программы «Аэрокосмические и наземные наблюдения в интересах устойчивого развития и безопасности» (GEOUA), формируемой по решению совместного заседания Президиума Национальной академии наук Украины (НАНУ) и Коллегии Национального космического агентства Украины (НКАУ) от 17.01.2007.

В данной работе представлены первые результаты работ по созданию системы мониторинга состояния и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур программы GEOUA.

Методы прогнозирования урожайности и оценки состояния растительности

Растения обладают уникальным спектром поглощения, определяемым наличием различных пигментов, содержанием воды и физической структурой листьев [7]. Спектр меняется с течением времени в зависимости от фазы развития, биологического вида, состояния окружающей среды и состояния

растения. Поэтому спектр поглощения принципиально может быть использован для задач оценки состояния растительности.

На уровне растительного покрова идентификация химических составляющих растений представляется сложной задачей, так как отражение сильно зависит от размеров, ориентации листьев, плотности растительности и характеристик среды, таких как тип грунта и угол падения лучей Солнца [7]. Несмотря на это, некоторые биохимические свойства растений могут быть восстановлены по спектру отражения растительного покрова. Известны успешные применения спектра отражения для идентификации вида растений [8], мониторинга содержания воды и характеристик удобрений в почве [9], задач фенологии растений [10], оценки площади листового покрова (leaf area index, LAI) [11], оценки биомассы [12].

Существующие методы прогнозирования урожайности можно разделить на методы на основе оценки физических факторов окружающей среды, методы на основе прямых оценок содержания хлорофилла и методы на основе данных дистанционного зондирования Земли.

Среди методов на основе оценок физических параметров окружающей среды наиболее распространенными являются статистические методы и механистические модели роста растений.

Статистические методы прогнозирования урожайности на основе оценки физических факторов среды используют предположение о существовании простой зависимости между характеристиками окружающей среды и урожайностью. Для выявления такой зависимости были применены методы линейного и нелинейного регрессионного анализа, нейронные сети [13]; исследованы зависимости урожайности от состава почвы (СЕС, рН, содержание органических веществ, фосфора, кальция, магния, калия), характеристик почвы (текстура, тип, глубина верхнего слоя), метеорологических параметров (осадки, температура, солнечная радиация) [13]. Методы данного класса редко применимы на практике вследствие большой трудоемкости необходимых наземных измерений и сложности исследуемых зависимостей.

Механистические модели роста используются для исследования процесса усвоения углерода и прироста биомассы. Как правило, моделируется рост растений под влиянием метеорологических параметров, характеристик грунта и состава вносимых удобрений; типичными входными данными являются температура, количество осадков, количество солнечной радиации; количество и тип удобрений, плотность насаждений, параметры ирригации и обработки, тип, глубина верхнего слоя, содержание гумуса в почве. Большинство моделей применимы только к одному виду растений, например, SOYGRO для бобовых [14], CERES-Maize [15] для кукурузы, CERES-Wheat [16] для пшеницы, WARM для риса [17]. Известны также универсальные модели SUCROS (Simple and Universal Crop growth Simulator [18]), STICS (Simulateur multidisciplinaire pour les Cultures Standard [19]), WOFOST [20]. Преимущества механистических моделей – физическая обоснованность и меньшие требования к объемам калибровочных данных по сравнению со статистическими моделями. Среди недостатков рассматриваемых моделей – вычислительная сложность.

Методы на основе прямых оценок содержания хлорофилла основаны на наземных измерениях SPAD датчиков [21]. Была обнаружена высокая степень корреляции между количеством хлорофилла и урожайностью для различных сельскохозяйственных культур. Область применения методов ограничена в связи с необходимостью большого количества наземных измерений.

Методы на основе данных дистанционного зондирования Земли можно разделить на два класса: а) методы, связывающие урожайность и спектральные характеристики с использованием регрессионных моделей и вегетационных индексов; б) методы, использующие оценки состояния растительности (такие как LAI и биомасса) по данным ДЗЗ для калибровки механистических моделей роста.

Одним из простейших методов является использование линейной регрессии для моделирования зависимости урожайности от спектра поглощения растительного покрова [22]. Пики поглощения хлорофилла лежат в красной и синей областях спектра, поверхность листьев отражает в ближнем инфракрасном диапазоне; рассматриваемые данные могут быть использованы для оценки активности

фотосинтеза растений, и, следовательно, урожайности. Недостаток метода связан с сильной зависимостью яркости в исследуемых спектральных диапазонах от параметров среды, в частности атмосферы, угла падения света, типа почвы [7].

Для преодоления недостатков предыдущего метода применяются индексы (vegetation indices, VI) – отношение или разность интенсивности в двух и более спектральных диапазонах. Эффективность методов на основе индексов также зависит от состояния окружающей среды. Для повышения эффективности оценки состояния растительного покрова разработаны индексы, устойчивые к определенному классу источников шума: perpendicular vegetation index (PVI), soil-adjusted vegetation index (SAVI), transformed soil-adjusted vegetation index (TSAVI), atmospherically resistant vegetation index (ARVI) [23]. Известны успешные примеры применения индексов green normalized vegetation index (GNDVI), green/NIR ratio (SR), photochemical reflectance index (PRI) для задач оценки состояния растительности и прогнозирования урожайности. Для повышения точности прогноза в работах [24,25] предложено использовать суммарное значение индексов (рассматривались NDVI, SR) за сезон.

Наиболее перспективными с точки зрения адаптируемости являются методы на основе калибровки моделей роста по данным ДЗЗ. Процесс интеграции данных ДЗЗ в механистические модели роста состоит из двух этапов – оценки параметров растительности (как правило, LAI) по данным ДЗЗ и настройки модели на основе полученных параметров. Так, в работе [26] индекс weighted difference vegetation index (WDVI) применен для оценки LAI на основе моделей SAIL и PROSPECT. Полученный LAI использован для калибровки модели SUCROS для исследования урожайности сахарной свеклы. В работе [27] приведены результаты калибровки модели SUCROS по данным ERS SAR для прогнозирования урожайности сахарной свеклы, картофеля и озимой пшеницы. Модель CROPGRO для сои была адаптирована с использованием индекса NVI в работе [28]. Известны результаты настройки модели CERES-Wheat по данным LAI [29]. В результате настройки для рассмотренных моделей ошибка прогноза снизилась в 2-3 раза.

Оценка площади сельскохозяйственных культур

Одним из основных параметров в задачах экономического планирования является прогноз урожая, определяющийся урожайностью и площадью полей сельскохозяйственных культур. Необходимые статистические данные о площади полей в ряде задач недоступны – вследствие трудоемкости получения или недостаточной точности статистических источников. Методы на основе данных ДЗЗ позволяют преодолеть недостатки наземных методов оценки площади сельскохозяйственных культур.

В данной работе предлагается метод оценки площади озимых культур на территории Украины. Метод основан на анализе временного ряда индекса EVI [30]. В основу положено предположение о наличии достаточного количества хлорофилла в озимых культурах в период прекращения роста (вторая половина ноября) для идентификации на фоне грунта и других растений. Схема алгоритма построения карты полей озимых культур для территории Украины приведена на рис. 1.

Выделение полей под озимой культурой производится на основе пороговой фильтрации причем пороговые значения индивидуальны для административных единиц Украины. Доступные статистические данные Министерства статистики о площадях посевных территорий озимых культур в 2005-2007 гг. были использованы для нахождения пороговых значений индекса EVI (данные Terra/MODIS, продукт MOD13A2, вторая половина декабря), таких, что площадь посевных территорий (данные Terra/MODIS, продукт MOD12Q1) со значением индекса EVI большим порогового имела наименьшее отклонение от площади под озимыми культурами. В дальнейшем использовано среднее по годам пороговое значения для каждой области. При настройке по 2005-2006 гг. и верификации на данных 2007 г. отклонение от статистических данных не превышало 9.1 %.

Полученная данным методом карта полей под озимыми культурами в дальнейшем использована для прогнозирования урожайности. Результаты оценки для 2008 г. приведены на рис. 2.

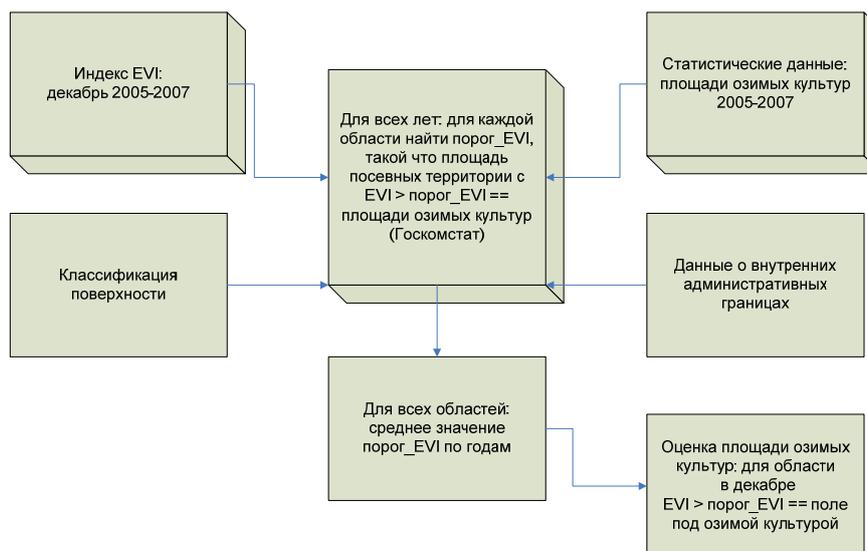


Рис. 1. Оценка площади озимых культур



Рис. 2. Оценка территорий под озимыми культурами (Украина, 2008 г.)

Прогнозирование урожайности озимой пшеницы для территории Украины

Для прогнозирования урожайности на текущем этапе применен метод на основе вегетационных индексов. Преимуществом предлагаемого метода является относительно небольшое количество входных данных, небольшая вычислительная сложность и достаточно высокая точность. Среднее значение индекса EVI на территории полей под озимыми культурами области в 2005-2007 гг. использованы для линейного регрессионного анализа. Карты полей получены методом, описанным в предыдущем разделе. Схема алгоритма прогнозирования урожайности озимой пшеницы на территории Украины приведена на рис. 3.

Индекс EVI продукта MOD13A2 доступен с 16 дневным временным разрешением. Для каждого 16 дневного периода была построена зависимость урожайности от значения EVI в 2005-2007 гг. Полученные зависимости в дальнейшем использованы для прогнозирования урожайности в 2008 г.

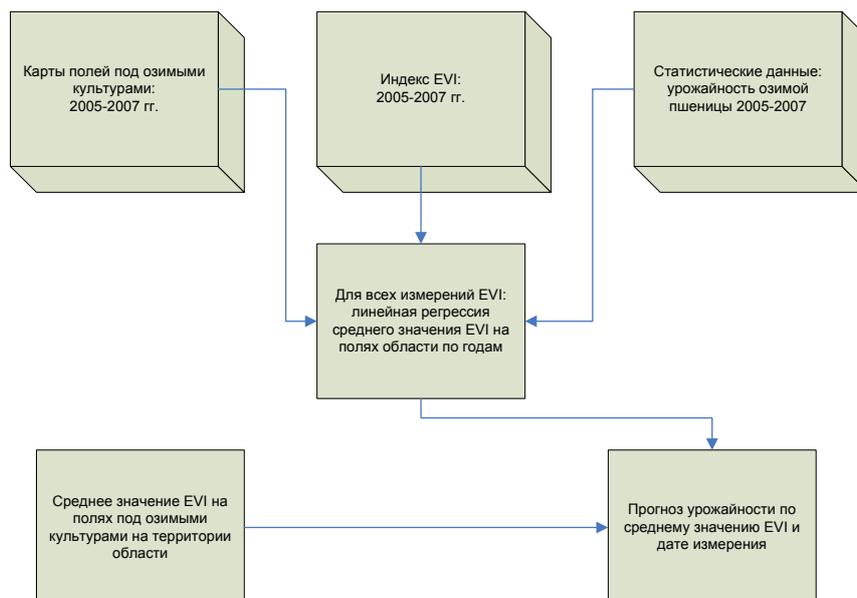


Рис. 3. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на территории Украины

При верификации метода на статистических данных урожайности 2007 г. ошибка прогноза составляет 13.4-17.2 %.

Прогнозируемые значения урожайности озимой пшеницы 2008 г. приведены в табл. 1.

Табл. 1. Прогноз урожайности озимой пшеницы в Украине, 2008 г.

Область	Урожайность, ц/га
АР Крым	22.1
Винницкая	31.3
Волынская	23.6
Днепропетровская	27.2
Донецкая	25.5
Житомирская	24.2
Закарпатская	29.3
Запорожская	27.5
Ивано-Франковская	22.4
Киевская	29.7
Кировоградская	32.1
Луганская	19.5
Львовская	27.2
Николаевская	29.1
Одесская	24.9
Полтавская	27.6
Ровенская	21.7
Сумская	20.6
Тернопольская	24.3
Харьковская	23.5
Херсонская	27.2
Хмельницкая	18.9
Черкасская	32.4
Чернивецкая	27.2
Черниговская	23.1
Средняя урожайность	25.7

Результаты прогнозирования CGMS

Для территории Украины доступны результаты прогнозирования европейской системы CGMS, поддерживаемой в рамках проекта MARS [5]. Прогнозированное среднее значение урожайности пшеницы в 2008 г. для Украины составляет 28 ц/га. Отклонение предложенного метода от прогноза CGMS составляет 8.3 %.

Выводы

В работе предложены методы оценки площади полей озимых культур и прогнозирования урожайности озимой пшеницы на основе данных дистанционного зондирования Земли. Оценка площади полей озимых культур основана на анализе временного ряда индекса EVI в предположении о наличии достаточного количества хлорофилла в озимых культурах в период прекращения роста (вторая половина декабря) для идентификации на фоне грунта и других растений. При настройке по 2005-2006 гг. и верификации на данных 2007 г. отклонение от статистических данных не превышало 9.1 %. Дальнейшее направление исследований связаны с адаптацией метода для весенних сельскохозяйственных культур.

Для прогнозирования урожайности среднее значение индекса EVI на территории полей под озимыми культурами области в 2005-2007 гг. использованы для линейного регрессионного анализа. При верификации метода на статистических данных урожайности 2007 г. ошибка прогноза не превышает 17.2 %. Для повышения точности прогноза в дальнейшем предполагается использовать полученные результаты для калибровки механистической модели роста WOFOST.

Литература

- [1] Whelan, B.M., McBratney, A.B. The "Null Hypothesis" of Precision Agriculture Management // Precision Agriculture, Volume 2, Number 3. - 2000. - 265-279 p.
- [2] Mohamed, A.A.; Sharifi, M.A.; Keulen, H. van. An integrated agro-economic and agro-ecological methodology for land use planning and policy analysis // Journal of Applied Earth Observation and Geo information. 2. - 2000. - 87-103 p.
- [3] GEOSS 10-Year Implementation Plan: Reference Document // ESA Publication Division. – 2005. – 209 p. ISSN 0379-6566, ISBN 92-9092-986-3
- [4] The common agricultural policy. - Directorate-General for Agriculture and Rural Development European Commission. - 2006. - 24 p. ISSN 1681-7206, ISBN 92-79-00398-4.
- [5] MARS project, <http://www.marsop.info/>.
- [6] Report from the Commission to the Council and the European Parliament on implementation of Decision No 1445/2000/EC on the application of aerial-survey and remote-sensing techniques to the agricultural statistics - COM(2007) 552 final. - Brussels, 27.9.2007.
- [7] Campbell, J. B. Introduction to remote sensing. - New York: Guilford Press. - 2002.
- [8] Serpico S. B., L. Bruzzone, and F. Roli. An experimental comparison of neural and statistical non-parametric algorithms for supervised classification of remote-sensing images // Pattern recognition letters 17(13) - 1996. - 1331-1341 p.
- [9] Lelong, Camille C. D., P. C. Pinet, and H. Poilvé. Hyperspectral imaging and stress mapping in agriculture: A case study on wheat in Beauce (France) // Remote sensing of environment 66(2). - 1998. - 179-191 p.
- [10] Railyan, V. Y., and R. M. Korobov. Red edge structure of canopy reflectance spectra of triticale // Remote sensing of environment 46(2). - 1993. - 173-182 p.
- [11] Aparicio, N., D. Villegas, J. L. Araus, J. Casadesus, and C. Royo. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat // Crop science 42. - 2002. - 1547-1555 p.
- [12] Serrano, L., I. Filella and J. Penuelas. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies // Crop Science 40(3). - 2000. - 723-731 p.
- [13] Drummond, S. T., K. A. Sudduth, A. Joshi, S. J. Birrell, N. R. Kitchen. Statistical and neural methods for site-specific yield prediction // Transaction of the ASAE 46(1). - 2003. - 5-14 p.
- [14] Wilkerson, G. G., J. W. Jones, K. J. Boote, K. T. Ingram, and J. W. Mishoe. Modeling soybean growth for crop management // Transaction of the ASAE 26. - 1983. - 63-73 p.

- [15] Ritchie, J. T., U. Singh, D. C. Godwin, and T. Hunt. A User's guide to CERES maize-v2.10. - International fertilizer development centre. - Muscle Shoals, AL. - 1989.
- [16] Ritchie, J. T., and S. Otter. Description and performance of CERES-Wheat: A user-oriented wheat yield model // USDA-ARS, ARS-38. - 1985. - 159-175 p.
- [17] Confalonieri, R., Acutis, M., Donatelli, M., Bellocchi, G., Mariani, L., Boschetti, M., Stroppiana, D., Bocchi, S., Vidotto, F., Sacco, D., Grignani, C., Ferrero, A., Genovese, G. WARM: a scientific group on rice modelling // Rivista Italiana di Agrometeorologia, 2. - 2005. - 54-60 p.
- [18] Spitters, C. J. T., H. van Keulen, and D. W. G. van Kraalingen. A simple and universal crop growth simulator: SUCRO87 // Simulation and Systems Management in Crop Protection, edited by R. Rabbinge, S. A. Ward, and H. H. van Laar. - Simulation Monographs 32 (Wageningen: Pudoc) - 1989. - 147-181 p.
- [19] Brisson, N., B. Marry, D. Ripoché, M. H. Jeuffroy, F. Ruget, B. Nicoullaud, P. Gate, F. Devienne-Barret, R. Antonioletti, C. Durr, G. Richard, N. Beaudoin, S. Recous, X. Tayot, D. Plenet, P. Cellier, J. M. Machet, J. M. Meynard, and R. Delécolle. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. 1. Theory and parameterization applied to wheat and corn // Agronomie 18. - 1998. - 311-346 p.
- [20] Supit I., A.A. Hooijer, C.A. van Diepen. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms. - EUR 15956. - Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. - 1994. - 146 p.
- [21] Blackmer, T. M. and J. S. Schepers. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn // Journal of production agriculture 8. - 1995. - 56-60 p.
- [22] Ball, S. T. and B. E. Frasier. Evaluating the association between wheat yield and remotely-sensed data // Cereal research communications 21(2-3). - 1993. - 213-219 p.
- [23] Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) // Remote sensing of environment 25. - 1988. - 295-309 p.
- [24] Hayes, M. J. and W. L. Decker. Using satellite and real-time weather data to predict maize production // International Journal of Biometeorology 42(1). - 1998. - 10-15 p.
- [25] Maselli, F., S. Romanelli, L. Bottai and G. Maracchi. Processing of CAC NDVI data for yield forecasting in the Sahelian region // International Journal of Remote sensing 21(18). - 2000. - 3509-3523 p.
- [26] Clevers, J. G. P. W., C. Büker, H. J. C. van Leeuwen, and B. A. M. Bouman. Framework for monitoring crop growth by combining directional and spectral remote sensing information // Remote sensing of environment 50(2). - 1994. - 161-170 p.
- [27] Bouman, B. A. M., D. W. G. van Kraalingen, W. Stol, and H. J. C. van Leeuwen. An agroecological modeling approach to explain ERS SAR radar backscatter of agricultural crop // Remote sensing of environment 67(2). - 1999. - 137-146 p.
- [28] Mathew, S. S., J. O. Paz, and W. D. Batchelor. Integrating remotely sensed images to improve spatial crop model calibration. - ASAE paper No. 00-3039. - Milwaukee, Wisconsin:ASAE. - 2000.
- [29] Dente, L., Satalino, G., Mattia, F., Rinaldi, M. Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield // Remote Sensing of Environment 112. - 2008. - 1395-1407 p.
- [30] Huete, A., Justice, C., Leeuwen, W. MODIS vegetation index (MOD 13). Algorithm Theoretical Basis Document, http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf.

Информация об авторах

Куссуль Наталья Николаевна - Институт космических исследований НАН и НКА Украины, профессор, доктор технических наук, заведующий отделом, проспект Академика Глушкова 40, 03680 Киев, Украина; e-mail: inform@ikd.kiev.ua

Ильин Николай Иванович - Институт космических исследований НАН и НКА Украины, младший научный сотрудник; проспект Академика Глушкова 40, 03680 Киев, Украина; e-mail: inform@ikd.kiev.ua.

Скакун Сергей Васильевич - Институт космических исследований НАН и НКА Украины, кандидат технических наук, научный сотрудник; проспект Академика Глушкова 40, 03680 Киев, Украина; e-mail: inform@ikd.kiev.ua.

Лавренюк Алла Николаевна - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», кандидат технических наук, доцент, проспект Победы 37, 03056 Киев, Украина; e-mail: inform@ikd.kiev.ua

БАЗОВЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОМПОНЕТЫ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

Юрий Пономарев, Татьяна Борисенко, Леся Медведева, Виктор Борисенко

Аннотация: в работе определены принципы построения и методы реализации основных интеллектуальных компонент корпоративной системы управления бизнес-процессами (КСУ БП). В качестве базовой интеллектуальной информационной компоненты КСУ БП было разработано и внедрено интеллектуальное структурно-инвариантное объектно-ориентированное ядро интегрированного распределенного банка данных, одной из наиболее важных характеристик которого является его унифицированная стандартизованная саморасширяемая структура, позволяющая включать (изменять) метаинформацию о новых сущностях (объектах предметной области) и их атрибутах без добавления новых таблиц, столбцов и отношений между ними. Вторая компонента представляет собой интеллектуальную агентную технологию синхронизации (репликации) данных.

Ключевые слова: интеллектуальная компонента, корпоративная система управления бизнес-процессами, структурно-инвариантное объектно-ориентированное информационное ядро, метаданные, репликация данных, адаптивная технология

ACM Classification Keywords: J/1 Administrative data processing

Conference: The paper is selected from International Conference "Intelligent Information and Engineering Systems" INFOS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Разработка и внедрение корпоративных систем управления бизнес-процессами ориентировано на высокий уровень информационной поддержки принятия управленческих решений, что позволяет обеспечить высокие уровни управляемости, прибыльности и, в конечном итоге, капитализации компании. Перспективным направлением повышения качества и эффективности работы таких систем является использование при их построении современных интеллектуальных компонент и технологий.

В составе современных коммерческих (покупных) корпоративных систем управления бизнес-процессами класса Enterprise Resource Planning (ERP) интеллектуальные технологии все еще находят существенно ограниченное применение.

Поэтому исследования по проблематике создания и внедрения интеллектуальных компонент в составе крупномасштабных бизнес-систем являются весьма важными и актуальными работами.

1. Интеллектуальное структурно-инвариантное объектно-ориентированное ядро интегрированного распределенного банка данных

В качестве базовой интеллектуальной информационной компоненты корпоративной системы управления бизнес-процессами было разработано и внедрено в государственной газотранспортной компании "Укртрансгаз" интеллектуальное структурно-инвариантное объектно-ориентированное ядро (ИЯ) интегрированного распределенного банка данных (ИРБД). Работа проводилась в отраслевом институте транспорта газа (г. Харьков, Украина).

Одной из наиболее важных технических характеристик ИЯ ИРБД, существенно повышающих эффективность сопровождения и развития системы, является его унифицированная стандартизованная саморасширяемая структура, которая позволяет включать (изменять) метаинформацию о новых сущностях (объектах предметной области) и их атрибутах без добавления новых таблиц, столбцов и

отношений между ними. Способность к структурно-инвариантному информационному саморасширению является весьма важным интеллектуальным механизмом, характерным, например, для естественных биологических систем, обладающих достаточно развитым мозгом. Для реализации данной возможности ИЯ ИРБД содержит в едином структурированном виде как метаданные, так и фактографическую информацию, разделяемую несколькими распределенными приложениями.

Область метаданных является реализацией формализованного представления в реляционной базе данных структурно-семантических знаний о предметной области и интеллектуальной корпоративной системе управления бизнес-процессами. Основу метаданных составляют описание классов объектов, их типов (категорий), типовых (базовых) отношений между классами, различных иерархий функционально-семантического группирования классов, формируемых разработчиками и расширяемых системными администраторами по мере развития ИРБД. К метаданным относится и метасистемная служебная информация о конечных пользователях системы, их привилегиях и правах доступа к данным ИРБД, а также информация о функциональных подсистемах корпоративной системы управления бизнес-процессами, реализующих их приложениях и разработчиках. Метаданные вносятся в ИРБД на этапе разработки или развития системы.

Фактографические данные описывают конкретные статические или динамические свойства элементов объекта автоматизации либо являются нормативно-справочной информацией, необходимой для единообразного представления нормативных характеристик объекта. Фактографические данные вносятся в ядро ИРБД как на этапах разработки, внедрения, так и во время эксплуатации системы.

Понятия классов объектов и их свойств лежат в основе предлагаемого подхода, т.к. на их основе строится вся система знаний об объектах автоматизации. Класс объекта является базовым унифицированным *информационным семантическим шаблоном*, в котором представлен набор общих свойств, а также данные о типовой внутренней структуре конкретных сущностей (экземпляров, объектов), относящихся к данному классу. Метаинформация структурно-категорного типа, содержащаяся в классе, определяет общие особенности подмножества его экземпляров и правила построения отношений между ними, а также связей между экземплярами одного либо разных классов.

Для каждого класса определен расширяемый набор свойств и, возможно, типовых состояний объектов класса, а также множество допустимых семантических отношений объектов данного класса с другими объектами.

Свойства классов по видам делятся на *нормативные, статические и динамические*. *Нормативные* свойства определяются для промышленных изделий и представляют собой номинальные характеристики всех экземпляров объектов данного типа (марок). Значения нормативных свойств класса задаются для каждой марки промышленного изделия, относящейся к этому же классу. *Статические* свойства представляют неизменяемые во времени или редко изменяемые характеристики экземпляра объекта, такие, например, как километр расположения крана на трубопроводе. Значения статических свойств задаются для каждого экземпляра объекта отдельно. *Динамические* свойства отражают режимные характеристики экземпляра объекта, изменяющиеся во времени (например, выходной ток катодной установки). Значения динамических свойств задаются для каждого экземпляра объекта и имеют связь с описанием его состояния, в результате перехода объекта в которое они были зарегистрированы. Каждое состояние характеризуется информацией о дате и времени перехода объекта в это состояние и выхода из него. Состояния объектов могут быть объединены причинно-следственными связями и сгруппированы для отражения детализации сложных состояний. Одной из важнейших характеристик свойства является тип данных, который определяется в унифицированном универсальном формате, не привязанном к особенностям конкретной СУБД.

Среди классов выделено несколько семантических категорий (понятия, технологические объекты, организационные объекты и др.). Категория (тип), к которому принадлежит класс, определяет допустимое подмножество видов свойств, которыми он может характеризоваться.

Разработчик может в виде дерева определить иерархическое группирование классов объектов, которые будут использованы в его приложениях, по какому-либо признаку (например, функциональному). Вершины дерева представляют собой семантические группы классов и классы объектов (конечные вершины), а ветви - отношения вида "тип - подтип". Корневой вершине такого дерева присваивается наименование всей иерархической семантической группы. Иерархическое семантическое дерево классов в интеллектуальной корпоративной системе управления бизнес-процессами используется, например, для упрощения задания сложных составных условий фильтрации или организации сложного концептуального поиска информации.

Кроме того, для классов допустимы *отношения наследования* (для объектов в данной реализации они не предусмотрены). Отношение наследования устанавливается в том случае, если возникает необходимость уже существующий класс разделить на два или более классов в связи появлением новых свойств, которые присущи только некоторому подмножеству объектов данного класса. В этом случае уже существующий класс (родительский) автоматически становится абстрактным с сохранением у него общих для всех объектов свойств, а новыми свойствами, присущими только части объектов класса, наделяется новый наследованный подкласс.

2. Интеллектуальная адаптивная технология синхронизации данных

Все известные способы и системы синхронизации (репликации) данных между распределенными серверами баз данных, встроенные в современные промышленные СУБД, имеют ряд существенных недостатков, основными среди которых являются следующие:

- неудобная, сложная, негибкая настройка механизмов распределенной репликации данных;
- ненадежная работа встроенных систем репликации при наличии сегментов корпоративной сети с невысокой пропускной способностью (в газотранспортной системе – это удаленные пункты сбора данных с устройств линейной телемеханики, газораспределительные станции и т.п.);
- неэффективная работа встроенных механизмов репликации со сложными, гибкими распределенными базами данных, имеющими в составе развитые концептуально-семантические метаданные (к ним и относится ИЯ ИРБД. [Борисенко, 2004]).

В целях преодоления вышеуказанных недостатков в отраслевом институте транспорта газа была разработана, апробирована и внедрена интеллектуальная технология репликации (синхронизации) данных (ИТРД).

Разработанная технология имеет адаптивный характер и базируется на процедурном методе представления знаний, необходимых для организации эффективного, надежного и качественного обмена данными между удаленно расположенными информационными серверными узлами ИРБД.

Предлагаемая технология базируется на следующих основных принципах реализации:

- изменения данных должны распространяться по древовидной структуре сначала на подчиненные информационные узлы (серверы), а потом на вышестоящий узел. Информация обо всех узлах ИРБД и о подключении их друг к другу, должна храниться в специальной таблице ядра ИРБД на каждом узле;
- изменения данных ИРБД, выполненные на конкретном узле должны накапливаться в промежуточном буфере обмена (при помощи триггеров регистрации), после чего передаваться на другие узлы, подключенные к данному серверу;
- промежуток времени, за который выполняется попытка передачи изменений на смежный сервер, должен задаваться администратором ИРБД в настройках информации. При этом для каждого смежного сервера этот промежуток может быть задан отдельно;
- при записи изменений текущего сервера в буфер обмена необходимо помечать данные, относящиеся к одному непрерывному логическому блоку информации маркерами начала и конца;

- после того, как изменения текущего сервера будут переданы на все смежные серверы, данные из буфера обмена должны быть удалены и сохранены в архиве. Время хранения данных в архиве должно задаваться адаптивными параметрами настройки;
- передача данных на удаленный сервер должна производиться также в промежуточный буфер обмена. Каждая удачно переданная строка буфера обмена должна подтверждаться операцией commit;
- данные буфера, переданные с других серверов, могут быть развернуты только в том случае, если были выявлены непрерывные логические блоки (найлены маркеры начала и конца блоков);
- должен быть реализован контроль работы системы синхронизации данных путем введения обратной семантико-событийной связи по выбранному каналу (удаленный режим контроля).
- должна быть реализована возможность удаленного управления процессом репликации по выбранному каналу (удаленный командный режим);
- должна существовать возможность семантической пометки блока изменений как требующего подтверждения при успешной передаче с указанием почтового ящика, на который потом должны прийти письма-подтверждения со всех серверов. Письма должен высылать почтовый робот удаленного управления серверами ИРБД.
- должна существовать гибкая система разграничения прав пользователей на внесение изменений в различные объекты ИРБД; Каждый пользователь должен иметь права изменять свое подмножество данных, определенное системным интегратором или разработчиком;
- права на изменение, добавление и удаление данных должны быть двух видов - права с полной ответственностью и права с ограниченной ответственностью. Права с полной ответственностью присваиваются пользователям на непересекающиеся подмножества данных (интеллектуальная процедура раздачи прав должна это строго контролировать). Права с ограниченной ответственностью могут быть даны на пересекающиеся подмножества данных;
- должна быть обеспечена возможность запрета репликации данных об объектах заданных классов;
- должна существовать интеллектуальная процедура передачи изменений структуры объектов ИРБД только заданного типа в рамках общих потоков данных.

Предлагаемая интеллектуальная адаптивная система синхронизации данных реализует четыре основных режима функционирования:

— *автоматический широковещательный режим* (изменения затрагивают все сервера ИРБД и передаются от сервера к серверу в реальном масштабе времени автоматически);

— *автоматический режим с адресными метками* (изменения пишутся в историю изменений с указанием адресов серверов, на которых они должны быть развернуты);

— *принудительный широковещательный режим* (изменения передаются всем серверам автоматически, но данные разворачиваются по команде интегратора);

— *принудительный режим с адресными метками* (изменения разворачиваются по команде интегратора на заданных серверах).

Основные интеллектуальные программные средства поддержки синхронизации данных ИРБД реализованы в виде настраиваемого параметризованного пакета хранимых процедур СУБД Oracle и удаленной службы (интеллектуального агента) обслуживания узлов ИРБД. Интеллектуальный агент реализует все описанные выше алгоритмы синхронизации данных, а также выполняет ряд дополнительных системных функций, требующих периодического вызова и самовосстановления после сбоев при возникновении нештатных ситуаций, таких как: перезагрузка сервера, сбой питания, обрыв канала передачи данных, критическая перезагрузка ресурсов сервера, временная нехватка оперативной памяти и т.п..

В качестве дополнительного модуля была разработана служебная программа, которая предназначена для удаленного выполнения SQL-запросов к информационным серверным узлам, а также для получения и просмотра результатов их выполнения в асинхронном режиме. Она может быть также использована для удаленного обновления и перекомпиляции хранимых процедур, триггеров, пакетов и других объектов ORACLE одновременно на нескольких узлах. Кроме того, был разработан web-базируемый программный модуль для администратора узлов ИРБД, который выполняет следующие основные функции:

- отображение в удобном для пользователя виде значений контролируемых параметров на основе информации последнего опроса;
- сигнализация о наличии аварийных значений параметров при помощи цветового выделения соответствующего аварийного узла и параметра;
- изменение значений управляющего набора параметров и отсылку соответствующего SQL-запроса;
- отображение статуса параметра (дата последнего опроса, наличие и характер ошибки опроса);
- добавление новых контролируемых и управляющих параметров.

Выводы

В работе было представлено описание двух современных интеллектуальных технологий, используемых для построения базовых информационно-процедурных компонент корпоративной системы управления бизнес-процессами.

Опыт разработки и внедрения рассмотренных интеллектуальных технологий показывает, что данное направление развития современных систем управления бизнес-процессами является актуальным, практически целесообразным и весьма перспективным подходом к решению более общей проблемы существенного повышения уровня капитализации, эффективности и рентабельности современных крупномасштабных промышленных предприятий.

Библиография

[Борисенко, 2004] В. Борисенко, Т. Борисенко. Процедурно-семантическая модель представления знаний и ее реализация в виде адаптивного объектно-ориентированного ядра корпоративной системы управления газотранспортной системой. - В кн. "Трубопроводные системы энергетики: Управление развитием и функционированием".- Новосибирск: Наука, 2004, с. 312-321.

Информация об авторах

Юрий Пономарев – заместитель директора по научно-исследовательским работам, к.т.н., Научно-исследовательский и проектный институт транспорта газа, ул. Маршала Конева, 16, г. Харьков, 61004, Украина; e-mail: ponomar@itransgaz.com

Татьяна Борисенко – ведущий инженер-программист, к.т.н., Научно-исследовательский и проектный институт транспорта газа, ул. Маршала Конева, 16, г. Харьков, 61004, Украина; e-mail: tiboris@itransgaz.com

Леся Медведева – директор департамента информационных ресурсов и технологий, Национальная акционерная компания (НАК) "Нефтегаз Украины", ул. Богдана Хмельницкого, 6, г. Киев, 01001, e-mail: medvedeva@naftogaz.net

Виктор Борисенко – начальник ИТ-отдела, ученый секретарь Совета института, к.т.н., Научно-исследовательский и проектный институт транспорта газа, ул. Маршала Конева, 16, г. Харьков, 61004, Украина; e-mail: vborisenko@itransgaz.com

ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ БИЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Ирина Горицына, Александр Глущенко

Аннотация: Рассматриваются языковые проблемы, которые могут возникнуть в двуязычном обществе. Построена игровая модель, в которой на основании равновесия Нэша определяются условия сохранения стабильности языковых групп.

Ключевые слова: функция полезности, теория игр, равновесие Нэша, культурная идентичность.

ACM Classification Keywords: I. Computing Methodologies – 1.6. Simulation and modeling (G.3) – 1.6.8 Types of Simulation – Gaming.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Люди, в основном, сообщают о своей социальной идентичности посредством использования некоторых общих для группы символов или маркеров. Для многих этнических групп в качестве наиболее значимого символа коллективного членства выступает язык. Поэтому не случайно этнические сообщества всегда в первую очередь озабочены сохранением родного языка, полноценным обучением языку подрастающего поколения, его дальнейшим развитием.

Если вернуться к вопросу языка, то необходимо отметить двухстороннюю связь между языком и идентификацией – с одной стороны, использование языка как культурного символа и маркера является следствием идентификации, с другой стороны, существование языка является необходимым условием самоидентификации и самокатегоризации.

Проблема языков меньшинств появилась в общеевропейской политике только два десятка лет тому назад. До того времени говорили и думали не о проблеме языков, а исключительно о проблемах национальных меньшинств, то есть групп людей.

Большой импульс был дан кельтскоязычными регионами. Можно сказать, что это были первые мероприятия, касающиеся не национальных меньшинств в том значении слова, которое употреблялось до сих пор, а исходили из такого размышления "Что происходит с нашим языком? Несмотря на то, что существует независимое ирландское государство, ирландский язык быстро умирает!". Похожее начало происходит в Уэльсе. В частности, именно поэтому Европейское Бюро малоиспользуемых языков (EBLUL - European Bureau for Lesser-Used Languages) было создано по инициативе ирландцев.

Совет Европы начал дебатировать вопрос о каком-либо правовом документе, который бы касался языков. Сначала появлялись различные проекты так называемой Европейской Хартии языков национальных меньшинств и регионов, а впоследствии был разработан документ с таким названием.

Хартия была подготовлена в начале 90-ых годов, но смогла вступить в силу только после ратификации первыми пятью государствами. После этого она могла быть представленной к подписи другим государствам.

Интерпретацией языковой политики Совета Европы является Европейская хартия языков национальных меньшинств и регионов [Хартия, 1992]. В преамбуле Хартии указано, что языковое богатство Европы является ценностью всего континента. В свою очередь, каждое государство, подписывая и ратифицируя Хартию, соглашается с тем, что языковое богатство страны является его национальным достоянием.

У государства нет шансов войти в ЕС, если оно не гармонизирует свою правовую систему защиты национальных меньшинств (путем, например, принятия Рамочной конвенции о защите национальных меньшинств) или, если не предпримет шаги, направленные на ратификацию Хартии.

Все достижения последних лет, касающиеся позиции этих языков, связаны с повышением национального сознания. Наиболее успешно это выглядит в Уэллсе. В результате получения автономии, уэллский язык стал вторым языком делопроизводства. В тот же самый период произошла демократизация Испании, которая провела языковую регионализацию. В данный момент мы имеем дело не только с признанными национально-языковыми сообществами - басками, каталонцами, галийцами, которые имеют культурную, языковую, экономическую и даже политическую автономию.

В странах ЕС в основном один государственный язык, за исключением Финляндии. Там говорящие на шведском языке пользуются статусом официального языка, из чего вытекают и возможности получать высшее образование на родном языке.

Сравнивая страны, предлагающие обучение, как на официальном, так и на языках меньшинств, надо сделать вывод, что существуют весьма большие вариации по предлагаемому числу часов языков обучения и их вида на каждом языке.

Высшее образование на языках меньшинств страны ЕС не предлагают. Исключением являются только те вузы, в которых преподается язык определенного меньшинства, чтобы обеспечить будущих педагогов и переводчиков, владеющих языком меньшинства.

В целом ситуация в большей части государств, рассмотренных в таблице, весьма похожа. Они предлагают детям меньшинств возможности образования на родном языке, однако с различающимися возможностями выбора, которые, в свою очередь, определяются законами каждого государства в зависимости от особых условий каждой страны.

Предпосылки для построения модели

Данная статья продолжает рассматривать языковые проблемы, затронутые в [Горицына, 2006, 2007]. Коротко напомним ее основные положения. Рассмотрим общество, разговаривающее на двух языках $\{a, b\}$. Для простоты предположим, что семьи состоят из одного родителя и одного ребенка.

Родительская функция полезности включает затраты на образование ребенка. Родитель считает своим долгом передать ребенку свою этническую (или культурную) идентичность. Культурная идентичность однозначно связана со знанием одного из двух языков. Языковая функция полезности (v) - одинакова для родителя и для ребенка. Наличие языковых навыков представлено булевой переменной s , которая показывает уровень владения языком. Функция социализации или функция изучения языка S зависит от знания родителем языка, вектора денежных "доходов" и удельного веса населения, которое разговаривает на этом языке. Функция зависит от булевых (двоичных) переменных и имеет ограниченные значения по каждому фактору. Чем ниже удельный вес населения, разговаривающего на языке меньшинства, тем большее значение функции изучения языка S .

В доходной части бюджетного уравнения заработная плата родителя зависит от его языковых способностей. Предполагается, что языковые способности родителя известны и все люди вначале имеют некоторые знания другого языка. Заработная плата имеет постоянную компоненту W , не связанную со знанием языков, и компоненту, обусловленную знанием языка и зависящую от доли населения, с которой человек может общаться, основываясь на своих знаниях языков.

Постановка задачи и решение

Задача Родителя состоит в максимизации функции полезности от потребления некоторых материальных благ в совокупности с некоторыми благами и преимуществами, которые дают культурная идентичность и знание языков, на которых разговаривают члены общества:

$$U = u(x) + s_p^i \cdot v(q_p^i + q_p^{jj}) + s_p^j \cdot v(1 - q_p^i) + u(x_c(s^i, s^j)) + s^i \cdot v(1) - C(\tau^i + \tau^j) \rightarrow \max.$$

Необходимо определить x, x_c, τ^i, τ^j в области допустимых решений (бюджетных ограничений для себя и своего ребенка):

$$px = W + w(s_p^i \cdot q_p^i + q_p^{jj} + s_p^j \cdot q_p^j),$$

$$px_c = W + w(s^i \cdot q^i + q^{jj} + s^j \cdot q^j),$$

где $s^i = S(s_p^i, \tau^i, q_p^i + q_p^{jj})$, $s^i \in \{0, 1\}$, $s_p^i \in \{0, 1\}$, $q^i + q^j + q^{jj} = 1$, $u(x)$ – монотонно возрастающая, строго вогнутая функция полезности; x – множество выборов родителя (наборы благ, на которые могут быть потрачены деньги); x_c – множество выборов ребенка (наборы благ, на которые могут быть потрачены деньги); $i \in \{a, b\}$ – языки, на которых разговаривают, a – язык большинства, b – язык меньшинства; s^i – языковая переменная ребенка, $s^i = 1$, если ребенок имеет способности к языку i , $s^i = 0$ в противном случае; s_p^i – языковая переменная родителя, $s_p^i = 1$, если родитель владеет языком i , $s_p^i = 0$, в противном случае; $q^i \in [0; 1]$ – удельный вес детей, говорящих только на языке i ; $q^i = N(s^i = 1 \ \& \ s^j = 0)/N$; $q^j = N(s^i = 0 \ \& \ s^j = 1)/N$; $q^{jj} \in [0; 1]$ – удельный вес детей, говорящих на двух языках; $q^{jj} = N(s^i = 1 \ \& \ s^j = 1)/N$, $q^i + q^j + q^{jj} = 1$; $q_p^i \in [0, 1]$ – удельный вес родителей, говорящих только на языке i ; $q_p^{jj} \in [0, 1]$ – удельный вес родителей, говорящих на двух языках; $v(q^i)$ – дополнительная польза от владения языком i (монотонно возрастающая, строго вогнутая функция); $v(1)$ – функция полезности i –язычного родителя при наличии у ребенка способностей к родному языку; $w(q^i)$ – монотонно возрастающая, строго вогнутая функция заработной платы, связанная со знанием i -го языка; $C(\tau^i)$ – строго возрастающая функция стоимости, $C(0) = 0$, $dC(0)/d\tau^i = 0$; τ^i – N -мерный вектор затрат; S – механизм социализации, подготовки к жизни в обществе $S(0, 0, 0) = 0$, $dS/ds_p^i \geq 0$, $dS/d\tau^i \geq 0$, $dS/dq^i \geq 0$; N – численность населения.

Функция социализации устанавливает однозначное соответствие между переменными s^i и τ^i при условии, что знания языков родителей и распределения населения относительно знаний языков известны заранее. Поэтому, введем новую переменную для обозначения затрат, необходимых для изучения языка. Обозначим минимальные затраты, необходимые для обучения ребенка языку при условии, что и родитель говорит на этом же языке:

$$\tau^i \rightarrow \min,$$

$$\text{при условии } S(1, \tau^i, q_p^i + q_p^{jj}) = 1.$$

Пусть τ_{11}^i – значение целевой функции этой задачи. Естественно, что родитель заинтересован в минимизации затрат на обучение языку. Аналогично обозначим через τ_{01}^i минимальные затраты (значение целевой функции), необходимые для обучения ребенка языку, на котором родитель не разговаривает:

$$\tau^i \rightarrow \min,$$

$$\text{при условии } S(0, \tau^i, q_p^i + q_p^{jj}) = 1.$$

Так как затраты определены в задаче максимизации функции полезности, то существует только два варианта: обучать ребенка языку или нет. Следовательно, максимальное значение $\tau^i \in \{0, \tau_{11}^i\}$, если родитель говорит на языке i , или $\tau^i \in \{0, \tau_{01}^i\}$, если он не говорит на этом языке.

Стабильность распределения языковых групп

В дальнейшем мы абстрагируемся от факта, что минимальные затраты, необходимые для обучения определенному языку τ_{11}^a, τ_{01}^a и т.д. зависят от времени, так как изменяется во времени и доля населения, которое говорит на языке a – $(q_p^a + q_p^{ab})$. Т.е., соответствующее значение должно быть равным $\tau_{11}^i(q_p^i + q_p^{jj})$. Однако для задачи оптимизации в рамках одного временного периода примем эти

величины заданными. Для нахождения решения с учетом возможного распределения населения в зависимости от знания языка (языков), будем считать величины q^a , q^b известными.

Определение расходов на образование ребенка можно рассматривать как игру [Горицына, 2006, 2007]. Игроками являются: 1. Игрок, владеющий только языком а (**A**), 2. Игрок, владеющий двумя языками, отождествляющий себя с культурой а (**2A**), 3. Игрок, владеющий двумя языками, отождествляющий себя с культурой b (**2B**), 4. Игрок, владеющий только языком b (**B**). В качестве трех стратегий выбраны: 1) обучение своего ребенка языку а; 2) обучение ребенка двум языкам; 3) обучение ребенка языку b.

Представим схематически стратегии и выигрыши (таб.1), принимая во внимание, что зависят q^a , q^b , $q^2=q^{ab}$ от выборов других игроков

Таблица 1.

Таблица выигрышей игроков

Стратегии Игроки	Обучение языку а	Обучение двум языкам	обучение языку b
Игрок 2A	$u\{W + w(q^a + q^2)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}})$	$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}})$	$u\{W + w(1 - q^a)\} - C(\tau^{b_{11}})$
Игрок 2B	$u\{W + w(q^a + q^2)\} - C(\tau^{a_{11}})$	$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}})$	$u\{W + w(1 - q^a)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}})$
Игрок A	$u\{W + w(q^a + q^2)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}})$	$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{01}})$	$u\{W + w(1 - q^a)\} - C(\tau^{b_{01}})$
Игрок B	$u\{W + w(q^a + q^2)\} - C(\tau^{a_{01}})$	$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{01}} + \tau^{b_{11}})$	$u\{W + w(1 - q^a)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}})$

Определим условия устойчивости (равновесие Нэша) [Волошин, 2006]. для всех игроков.

Для группы игроков 2A:

$$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) \geq u\{W + w(q^a + q^2)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}}), \quad (1')$$

$$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) \geq u\{W + w(1 - q^a)\} - C(\tau^{b_{11}}). \quad (2')$$

Для группы игроков 2B:

$$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) \geq u\{W + w(q^a + q^2)\} - C(\tau^{a_{11}}), \quad (3')$$

$$u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) \geq u\{W + w(1 - q^a)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}}). \quad (4')$$

Для группы игроков A ($s^a = 1$, $s^b = 0$):

$$u\{W + w(q^a + q^2)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}}) \geq u\{W + w(1 - q^a)\} - C(\tau^{b_{01}}), \quad (5')$$

$$u\{W + w(q^a + q^2)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}}) \geq u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{01}}). \quad (6')$$

Для группы игроков B ($s^a = 0$, $s^b = 1$):

$$u\{W + w(1 - q^a)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}}) \geq u\{W + w(q^a + q^2)\} - C(\tau^{a_{01}}), \quad (7')$$

$$u\{W + w(1 - q^a)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}}) \geq u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{01}} + \tau^{b_{11}}). \quad (8')$$

Как было показано в [Горицына, 2007], придание большого веса фактору культурной передачи означает, что никто теряет своей культурной идентификации.

Введем обозначения

$$\Delta u^{2a} = u\{W + w(1)\} - u\{W + w(q^a + q^2)\};$$

$$\Delta u^{2b} = u\{W + w(1)\} - u\{W + w(1 - q^a)\};$$

$$\Delta u^{ab} = u\{W + w(q^a + q^2)\} - u\{W + w(1 - q^a)\} = \Delta u^{2b} - \Delta u^{2a}.$$

Тогда условия (1')-(8') можно переписать:

$$\Delta u^{2a} - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) + C(\tau^{a_{11}}) \geq 0; \quad (1)$$

$$\Delta u^{2b} - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) + v(1) + C(\tau^{a_{11}}) \geq 0; \quad (2)$$

$$\Delta u^{2a} - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) + v(1) + C(\tau^{a_{11}}) \geq 0; \quad (3)$$

$$\Delta u^{2b} - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}}) + C(\tau^{b_{11}}) \geq 0; \quad (4)$$

$$\Delta u^{2b} - \Delta u^{2a} + v(1) - C(\tau^{a_{11}}) + C(\tau^{b_{01}}) \geq 0; \quad (5)$$

$$-\Delta u^{2a} - C(\tau^{a_{11}}) + C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{01}}) \geq 0; \quad (6)$$

$$\Delta u^{2a} - \Delta u^{2b} + v(1) - C(\tau^{b_{11}}) + C(\tau^{a_{01}}) \geq 0; \quad (7)$$

$$-\Delta u^{2b} - C(\tau^{b_{11}}) + C(\tau^{a_{01}} + \tau^{b_{11}}) \geq 0. \quad (8)$$

При отсутствии иммиграции и других факторов, влияющих на величину затрат и значение функции полезности, возможны несколько сценариев развития. Каждый из них может быть охарактеризован уровнем знания языков в группах большинства и меньшинства.

Ранее были сделаны предположения, что языковая группа меньшинства является достаточно большой и затраты одноязычных родителей меньшинства на обучение детей языку большинства, также велики. В этом случае имеем языковое равновесие, т.е. состояние языковых групп не меняется. Это равновесие возможно только при одновременном выполнении уравнений (1) – (8).

В настоящее время трудно представить себе страну, удовлетворяющую этому описанию. Оно базируется на 3 основных предположениях, которые, как правило, одновременно не выполняются. Во-первых, языковая группа меньшинства должна быть достаточно большой. Во-вторых, языки меньшинства и большинства должны быть различными (возможно принадлежать к различным языковым группам), чтобы сделать затруднительным обучение языку большинства для детей одноязычных родителей меньшинства. В-третьих, желание сохранить культурную идентификацию должно быть достаточно сильным.

При выполнении всех условий (1)-(8) соотношение языковых групп имеет вид:

	a -одноязычие	двужычие	b -одноязычие
Отождествление с культурой a	q_0^a	$\Theta \cdot q_0^2$	0
Отождествление с культурой b	0	$(1-\Theta) \cdot q_0^2$	q_0^b

Если одно или несколько из этих условий не выполняется, общество может перейти в другое состояние.

Одноязычное большинство

Если условия (1) не выполняются, при выполнении условий (2) - (8) имеем ситуацию, при которой удельный вес меньшинства настолько мал, что двужычное население, отождествляющее себя с культурой большинства, не видит необходимости обучать своих детей языку меньшинства. В результате, удельный вес двужычного населения q_0^2 уменьшается, а q^a достаточно на величину $\Theta \cdot q_0^2$.

	a –одноязычие	двоязычие	b –одноязычие
Отождествление с культурой a	$q_0^a + \Theta \cdot q_0^2$	0	0
Отождествление с культурой b	0	$(1-\Theta) \cdot q_0^2$	q_0^b

Анализируя неравенства, мы видим следующие изменения: Δu^{2b} увеличивается; Δu^{2a} уменьшается; $t^{b_{01}}$, $t^{b_{11}}$ увеличиваются; $t^{a_{11}}$, $t^{a_{01}}$ остаются без изменений.

В результате, левые части неравенств (1)–(8) изменяются следующим способом: (3) – уменьшается, (4) – наиболее вероятно увеличивается, (8) – наиболее вероятно уменьшается. В зависимости от размера изменения языковых групп или величины $\Theta \cdot q_0^2$ эта ситуация становится новым равновесием или при нарушении одного или более условий следующее поколение будет иметь уже другое распределение языковых групп.

Если присутствует сильная культурная идентификация ($v(1)$ велико), скорей всего неравенство (8) изменит свой знак.

Строго двуязычное меньшинство

Если неравенство (8) изменит свой знак, то более ограниченное использования языка меньшинства заставит одноязычного родителя меньшинства обучать своего ребенка языку большинства и, таким образом, превращать следующее поколение культурного меньшинства в двуязычных.

	a –одноязычие	двоязычие	b –одноязычие
Отождествление с культурой a	$q_0^a + \Theta \cdot q_0^2$	0	0
Отождествление с культурой b	0	$(1-\Theta) \cdot q_0^2 + q_0^b$	0

И в этом случае все общество разговаривает на языке большинства. Это становится новым равновесием при выполнении неравенства (3) – (6). Левые части (4) и (5) увеличиваются и, следовательно, по-прежнему выполняются пока (6) ≥ 0 . И в этом случае, если фактор культурной идентификации $v(1)$ достаточно велик, получаем равновесие.

Одноязычное общество

И наконец, если (3) меняет свой знак, то все общество становится одноязычным: двуязычное население меньшинства переходит на язык большинства, при сохранении некоторой культурной идентификации или полностью ассимилируется. Возможно и то и другое: если отсутствует язык, а присутствуют другие культурные отличительные характеристики, культура меньшинства может сохраниться в некоторой форме. Это можно представить следующим образом.

	a –одноязычие	двоязычие	b –одноязычие
Отождествление с культурой a	$q_0^a + \Theta \cdot q_0^2$	0	0
Отождествление с культурой b	$(1-\Theta) \cdot q_0^2 + q_0^b$	0	0

Со временем ситуация может изменяться, также как часть культурного меньшинства может переместиться в культуру большинства.

Неэффективность общего двуязычия

Интересным есть случай полного двуязычного общества и исследования, будет ли полный билингвизм жизнеспособным (приемлемым) с экономической точки зрения. Предположим, что обе группы населения первоначально двуязычны. Нет никакого преимущества в изучении другого языка, поскольку другая группа тоже двуязычна и экономические выгоды от общения с ней мог быть достигнуты и при общении на вашем собственном языке, а для изучения языков тратится меньшее количество усилий. Начальное распределение может быть записано как $(0; q_p^{ca} + q_p^{cb}; 0)$. Переменная q_p^{ci} используется для обозначения тех, кто отождествляет себя с культурой i . Две культурных группы имеют следующую матрицу выигрышей (вознаграждений):

Стратегии	Культура b b -одноязычные	Культура b -двуязычные	Культура b , a -одноязычные
Культура a , a -одноязычные	$(q_p^{ca}; 0; q_p^{cb})$ $[u\{W + w(q_p^{ca})\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}});$ $u\{W + w(1 - q_p^{ca})\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}})]$	$(q_p^{ca}; q_p^{cb}; 0)$ $[u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}});$ $u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}})]$	$(1; 0; 0)$ $[u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}});$ $u\{W + w(q_p^{ca} + q_p^{cb})\} - C(\tau^{a_{11}})]$
Культура a , двуязычные	$(0; q_p^{ca}; q_p^{cb})$ $[u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}});$ $u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}})]$	$(0; 1; 0)$ $[u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}});$ $u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}})]$	$(q_p^{cb}; q_p^{ca}; 0)$ $[u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}});$ $u\{W + w(1)\} - C(\tau^{a_{11}})]$
Культура a , b -одноязычные	$(0; 0; 1)$ $[u\{W + w(1)\} - C(\tau^{b_{11}});$ $u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{b_{11}})]$	$(0; q_p^{cb}; q_p^{ca})$ $[u\{W + w(1)\} - C(\tau^{b_{11}});$ $u\{W + w(1)\} + v(1) - C(\tau^{a_{11}} + \tau^{b_{11}})]$	$(q_p^{cb}; 0; q_p^{ca})$ $[u\{W + w(1 - q_p^{cb})\} - C(\tau^{b_{11}});$ $u\{W + w(q_p^{cb})\} - C(\tau^{a_{11}})]$

Заметим, что в этом случае $\tau^{a_{11}} = \tau^{b_{11}}$, так как для изучения обоих языков требуются одинаковые усилия, и языки как соотношение населения, говорящего на каждом из языков, равно 1, и родители одинаково хорошо знают оба языка.

Как видно из матрицы выигрышей, наилучшие решения следующие:

Стратегия для a	Наилучший ответ для b
a -одноязычие	любая из 3 стратегий в зависимости от параметров
двуязычие	b -одноязычие
b -одноязычие	b -одноязычие

Стратегия для b	Наилучший ответ для a
b -одноязычие	любая из 3 стратегий в зависимости от параметров
двуязычие	a -одноязычие
a -одноязычие	a -одноязычие

Как видно, в зависимости от вида функции полезности и функции стоимости, игра имеет или одно равновесие Нэша (одноязычие для обеих групп), или два равновесия ((1)одноязычие для одной из групп и/или 2) двуязычие или переход на язык первой группы для другой группы.

В ситуации с двумя равновесиями Нэша социальный организатор выбрал бы одно из них, которое заключается в том, что меньшинство изучает язык большинства. Ни для одной группы нет никаких экономических выгод, чтобы говорить на языке другой группы. Если денежные выгоды от ведения бизнеса с другой группой, превышают затраты на изучения другого языка, то имеет смысл, чтобы только одна группа была двуязычной. Именно такая политика проводится правительствами большинства европейских стран, где двуязычие узаконено, и меньшинство имеет право на образование на своем родном языке, но от них ожидают также изучения языка большинства.

Заключение

Считаем целесообразным продолжить исследования в этом направлении и в дальнейшем рассмотреть сильное равновесие Нэша, когда невыгодно отклоняться от выбранной ситуации любой коалиции.

Библиография

[Волошин, 2006] Волошин А.Ф., Машенко С.О., Теория принятия решений. Учебное пособие.–Киев: ИПЦ “Киевский университет”, 2006.–304 с. (на укр.яз).

[Горицына, 2006] Горицына И.А., Глуценко А.А. Роль фактора культурной идентичности в двуязычном обществе.– В кн.: Proceedings of the XII International Conference “Knowledge-Dialog-Solution” – Varna, 2006.–Sofia: FOI Commerce, 2006.—P.158-164.

[Горицына, 2007] Горицына И.А., Глуценко А.А. Культурная идентификация как фактор стабильности в двуязычном обществе.– В кн.: Proceedings of the XIII International Conference “Knowledge-Dialog-Solution” – Varna, 2007.–Sofia: FOI Commerce, 2007.—P.225-232.

[Хартия, 1992] Европейская хартия региональных языков или языков меньшинств.– Страсбург 5 ноября 1992 г.

Информация об авторах

Ирина Горицына – Старший научный сотрудник, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина; e-mail: goritsyna@unicyb.kiev.ua

Александр Глуценко – Старший научный сотрудник, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина; e-mail: mmeed@unicyb.kiev.ua

БОРТОВЫЕ ОПЕРАТИВНО-СОВЕТУЮЩИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ – НОВЫЙ КЛАСС АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Борис Федун

Аннотация: На основе анализа предметной области (типовые ситуации (ТС), семантические сети проблемных субситуаций (ПрС/С) для каждой из ТС), в которой действуют сложные технические (антропоцентрические) объекты, выявлена необходимость разработки специального класса бортовых интеллектуальных систем - бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС). Исследованы механизмы вывода, применяемые в БОСЭС. Представлены механизмы вывода, основанные на системе правил «если..., то..., иначе...»; на алгоритмах многокритериального выбора альтернатив Т.Саати; на алгоритмах, использующих матрицу знаний.

Ключевые слова: макромодель предметной области, бортовые оперативно-советующие экспертные системы: база знаний, механизмы вывода.

ACM Classification Keywords: H4.2 Decision support.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

1. Введение

К настоящему времени становится ясно, что желаемого резкого повышения эффективности вновь создаваемых антропоцентрических объектов (Антр/объектов) возможно достичь, главным образом, путем направления усилий конструкторов и ученых на совершенствование интеллектуальной составляющей «ядра» бортового комплекса Антр/объекта – совокупности алгоритмов бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ – алгоритмы) и алгоритмов деятельности экипажа (АДЭ). Эта совокупность сейчас называется «бортовым интеллектом». Она из набора разрозненных систем бортового оборудования создает функционально целостный объект, нацеленный на выполнение главной задачи текущего сеанса функционирования Антр/объекта.

2. Макромодель антропоцентрического объекта для разработки спецификаций бортовых алгоритмов его системообразующего ядра.

Антропоцентрический объект (Антр/объект) представляется совокупностью бортовых измерительных (Б/Изм/Устройства) и исполнительных устройств (Б/Исп/Устройства), объединенную системообразующим ядром (борт Антр/объекта), в котором главенствующая роль принадлежит экипажу (оператору) и в котором оперативно решаются задачи первого (оперативное целеполагание) и второго (определение рационального пути достижения оперативно назначенной цели) глобальных уровней управления (I и II ГЛУУ) [1].

Экипаж Антр/объекта осуществляет управление объектом, его бортовым оборудованием в соответствии со своими алгоритмами деятельности через диалоговое общение с информационно-управляющим полем (ИУП) кабины экипажа; БЦВМ-алгоритмы, реализованные в бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ), объединенных в бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС); бортовые исполнительные устройства (Б/Исп/Устройства). Подчеркнем: алгоритмы решения задач системообразующего ядра реализуются либо на бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ-алгоритмы), либо экипажем (алгоритмы деятельности экипажа (АДЭ)).

Функционирование Антр/объекта представляется как совокупность генеральных задач сеансов функционирования, к каждому из которых готовится как экипаж (изучение технической документации,

наставлений и инструкций, инструктаж перед сеансом, работа с системой подготовки сеанса функционирования), так и Антр/объект (в БЦВМ-алгоритмы заносится из системы подготовки сеанса функционирования априорная информация о предстоящем сеансе функционирования, настраиваются бортовые измерительные и исполнительные устройства). Все сеансы функционирования представляются через семантические сети их типовых ситуаций (ТС), упорядоченных по причинно следственному отношению. Множество ТС общее для всех сеансов функционирования.

Каждая ТС представляется через семантическую сеть (упорядочение по причинно следственному отношению) проблемных субситуаций (ПрС/С).

Дадим краткую характеристику задач названных задач ГЛУУ.

3. Бортовые алгоритмы первого глобального уровня управления Антр/объектом.

В соответствие с генеральной задачей сеанса функционирования на этом уровне управления оперативно определяется текущая цель сеанса в форме назначения (выбора) ТС.

Анализ состояния современной научной базы показал, что оперативное решение задач I ГЛУУ (уровень целеполагания) с помощью БЦВМ – алгоритмов современной науке и практике не под силу и их решение в обозримом будущем будет возлагаться только на экипаж (АДЭ главным образом эвристического типа). Инженеры - проектировщики обязаны для этого разработать БЦВМ-алгоритмы, реализующие кабинную информационную модель внешней и внутри бортовой обстановки, позволяющей экипажу иметь ситуационную осведомленность и элементы ситуационной уверенности.

4. Бортовые алгоритмы второго глобального уровня управления Антр/объектом.

Задачи II ГЛУУ решаются либо экипажем (АДЭ) либо бортовыми оперативно советующими экспертными системами (БОСЭС) - специфическими БЦВМ-алгоритмами [1].

Бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций (БОСЭС ТС) функционирования предназначены для решения так называемых “тактических задач” – задач, определяющих рациональные пути достижения текущей цели функционирования, оперативно назначенной экипажем. Для каждой ТС создаётся своя БОСЭС ТС. В структуру базы знаний БОСЭС ТС положена формальная модель предметной области, в которой *генеральная задача сеанса функционирования* Антр/объекта, задаваемая перед началом сеанса, представляется через семантическую сеть *типовых ситуаций* (ТС), каждая из которых представляется в свою очередь через семантическую сеть *проблемных субситуаций* (ПрС/С). В ТС выделяется множество значимых событий – событий, несущих с собой проблемы, которые требуют либо немедленного разрешения, либо предварительного пространственно-временного прогноза их наступления (модель проблемы, механизмы ее разрешения), когда проблема будет требовать немедленного разрешения (математическая модель пространственно-временного прогноза, модель проблемы, механизмы ее разрешения).

Для современных Антр/объектов генеральную задачу функционирования часто совместно решает иерархически упорядоченная (по управлению) группа. Размещаемые на них БОСЭС ТС в этом случае должны работать согласовано не только со своим экипажем, но и между собой, образуя коалицию БОСЭС ТС. Трудности создания БОСЭС ТС, работающей в коалиции в настоящее время ни теоретически, ни практически не преодолены. В отличие от «коалиционных» БОСЭС ТС, автономно работающие БОСЭС ТС (даже в интересах совместного выполнения сеанса функционирования группы) прошли этап создания их теории и разработки исследовательских образцов. На повестке дня стоит задача создания базовых образцов БОСЭС ТС и выявления конструктивных механизмов их адаптации к бортовой информационной среде конкретного Антр/объекта. Технология разработки баз знаний таких БОСЭС ТС описаны в [1].

Перечислим основные особенности БОСЭС ТС [1]:

- она должна решать все проблемы «своей» ТС (быть замкнутой по проблемам ТС);
- иметь ограниченный диалог с экипажем (ограничения по временному лимиту, отпускаемому внешней обстановкой, и по возможностям ввода информации экипажем через ИУП кабины);
- алгоритмы и правила в базе знаний (БЗ) должны ориентироваться на структуры ситуационного управления;
- быть всегда согласованной с активизированной концептуальной моделью поведения оператора, вырабатывая рекомендации по разрешению возникшей текущей проблемы на уровне оператора-профессионала с достаточной для него значимостью;
- иметь «отложенную» компоненту самообучения.

Первую группу механизмов вывода составляют производственные правила. Они по информации от Б/Изм/Устройств, штатных бортовых алгоритмов и математических моделей (ММ) в базе знаний БОСЭС ТС активизируют ПрСС, адекватную сложившейся внешней обстановке.

Вторая группа механизмов вывода определяет рациональный способ разрешения активизированной ПрС/С. В эту группу входят, кроме производственных правил, механизмы вывода по прецедентам и механизм вывода, основанный на алгоритме многокритериального выбора альтернативы [2].

В общем случае структуры моделей мира, используемые в базах знаний БОСЭС ТС, содержат: семантическую сеть ПрС/С, значимые события, ситуационные векторы (SV), альтернативы решения возникшей проблемы, критерии выбора предпочтительной альтернативы, матрицы парных сравнений, матрицы знаний, прецеденты, математические модели (ММ). Возможна корректировка моделей мира как в процессе подготовки Антр/объекта к сеансу функционирования («Корректировка-1»), так и в процессе самого сеанса («Корректировка-2»). Особенности моделей мира для каждого типа механизмов вывода представлены в табл.1.

Таблица 1. Механизмы вывода и модели мира, используемые в базах знаний БОСЭС.

Механизмы вывода	Структуры моделей мира	ММ в модели мира	Корректировка-1	Корректировка-2
Производственные правила	SV; альтернативы решения проблемы	Нет	Нет	Нет
Многокритериальный выбор	Типы альтернатив, критерии, матрицы парных сравнений	Генерирование альтернатив по заданному типу	Допустимые типы альтернатив	Корректировка матриц парных сравнений
Вывод по прецеденту	Матрица знаний, включающую в себя SV, множество прецедентов	Нет	Нет	Нет

Описание структуры БОСЭС конкретных предметных областей можно найти в [4 - 7].

5. Механизмы вывода в базах знаний БОСЭС.

Остановимся кратко на описании назначения и облика механизмов вывода в базе знаний БОСЭС (рис.1, на рисунке использована терминология, соответствующая Антр/объекту типа самолет).

По текущей информации от бортовых измерительных устройств, «штатных» БЦВМ-алгоритмов, сигналов с информационно-управляющего поля (ИУП) кабины экипажа в базе знаний БОСЭС формируется ситуационный вектор SV(ТС-ПрС/С), описывающий состояние внешней и внутри бортовой обстановки для назначения (или идентификации) текущей ПрС/С. Механизм такого назначения назовём механизмом

вывода на множестве ПрС/С. Конструируют его на базе материалов работы с экспертами, являющимися специалистами в рассматриваемой предметной области. В БОСЭС эти механизмы реализуются в форме правил «если..., то..., иначе...», полнота и непротиворечивость которых достигается за счёт отработки БОСЭС на системах имитационного моделирования (СИМ) [1] совместно с экспертами.

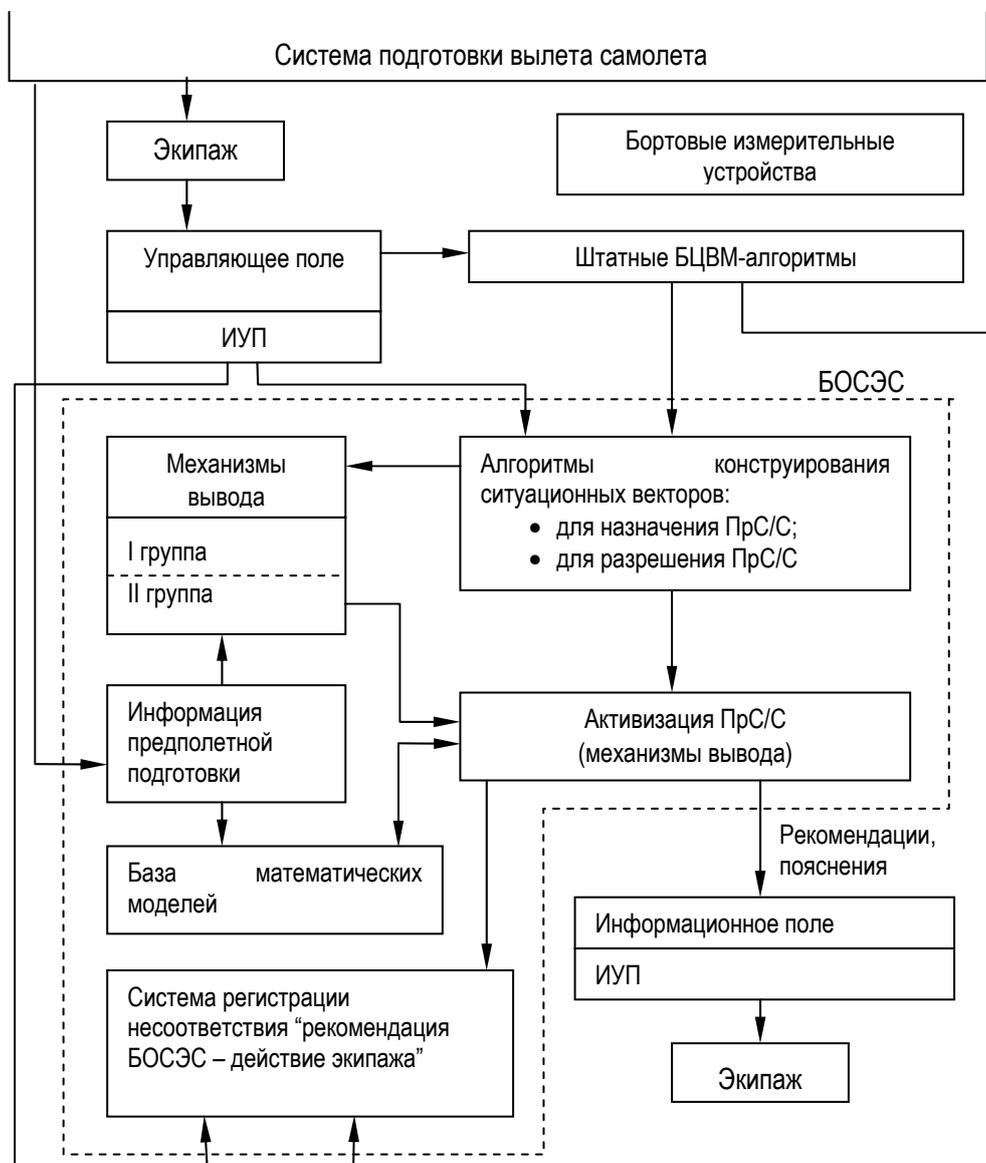


Рис. 1. Структура базы знаний БОСЭС

Используемые механизмы вывода (нахождения) рационального решения текущей ПрС/С представляются тремя типами механизмов. Первый тип - механизм идентичный упомянутому выше механизму назначения ПрС/С. Однако конструируют его для разрешения ПрС/С в базе знаний БОСЭС не столько на базе материалов работы с экспертами, сколько (и, прежде всего) по результатам математических исследований оптимизационных задач, формулировка которых адекватна рассматриваемым ПрС/С. Специфика ПрС/С в этом случае превалирует над формальными методами её рассмотрения. Обсуждению этого типа механизмов вывода посвящен первый раздел. Они апробированы в практике конструирования интеллектуальных систем, в том числе и при конструировании баз знаний БОСЭС.

Среди ПрС/С сеансов функционирования Антр/объектов есть такие, которые не поддаются полному адекватному формальному описанию. Как правило, они детально анализируются при подготовке экипажа к предстоящему сеансу функционирования. В результате такого системного анализа с учётом априорных сведений о возможных условиях наступления и протекания этой ПрС/С в предстоящем сеансе функционирования намечаются допустимые альтернативы её разрешения. Такие наработки используются в механизме вывода, построенном на базе алгоритма многокритериального выбора альтернативы, разработанного американским учёным Т.Саати. Во второй главе приведено описание механизма вывода этого (второго) типа. Механизм апробирован при построении фрагмента базы знаний, намеченной к разработке БОСЭС.

И, наконец, механизмы вывода третьего типа, ещё не апробированные в практике проектирования БОСЭС. При общении с экспертами и потенциальными пользователями БОСЭС часто приходится получать просьбы разработать механизмы предъявления экипажу удачного прецедента, подходящего для сложившейся ПрС/С. Наиболее адекватным механизмом вывода для таких случаев является механизм, использующий своеобразную матрицу знаний и описание ПрС/С через ситуационный вектор SV (ПрС/С-решение), координатами которого являются лингвистические переменные.

Эти три типа механизмов вывода, по-видимому, не исчерпывают всех возможных типов, присущих рассматриваемой предметной области и выбор их для приоритетного исследования, конечно, был обусловлен только имеющейся практикой разработки баз знаний первых версий известных БОСЭС. Далее остановимся только на механизмах вывода, предлагаемых для использования БОСЭС ТС при нахождении решения в ПрС/С.

5.1. Механизмы вывода на базе оптимизационных моделей.

Наиболее часто используется в БОСЭС механизм вывода первого типа – механизм, основанный на продукционных правилах. В разработанной (тем или иным способом) системе правил ситуационному вектору SV (ПрС/С-решение), описывающему через количественные координаты текущее состояние проблемы (левая часть продукционного правила), ставится в соответствие наиболее рациональный (оптимальный) способ ее разрешения (правая часть продукционного правила).

Остановимся кратко на наиболее часто встречающихся в практике проектирования баз знаний БОСЭС методах построения продукционных правил:

- интервьюирование экспертов,
- построение правил на базе результатов исследования оптимизационных моделей.

Построение правил на базе предварительного исследования проблемы на ее математической модели сродни процедуре построения правил на основе бесед с экспертами. В последнем случае сама модель проблемы и результаты ее «исследования» находятся в «голове» эксперта, а задача конструктора БОСЭС - провести цикл интервью с экспертами и затем формализовать полученные знания в форме некоторой совокупности правил. Результативность и трудности такого метода построения системы правил БОСЭС (процедуры вывода) обсуждалась в [2].

Не исключая использования такого метода, мы, тем не менее, отдаем предпочтение второму методу - методу построения правил на базе оптимизационных моделей, допуская при этом и возможность совместного использования обоих названных методов.

Итак, есть некоторая ПрС/С, к изучению которой мы намерены приступить. Опишем ее состояние некоторым вектором SV (ПрС/С-решение) координаты которого будут принимать только количественные значения. Создадим математическую модель (ММ) этой ПрС/С, включающую в себя:

- множество допустимых способов ее разрешения,
- механизмы связи каждого конкретного способа разрешения ПрС/С с результатом воздействия этого способа на ПрС/С (связь «способ – исход»),
- механизм оценки качества каждого исхода.

Поставим задачу нахождения наиболее предпочтительного (оптимального по критерию оценки качества) способа разрешения изучаемой ПрС/С.

Как видим, эта ММ представлена в форме оптимизационной задачи, решение которой будем искать в форме синтеза (ситуационного) управления.

Примеры формулировок таких оптимизационных задач, которые приходилось решать при разработке баз знаний конкретных БОСЭС и результаты их решения даны в [7].

На основе полученного решения (синтеза) формулируются правила рационального разрешения изучаемой ПрС/С. В правой части правила - значения координат вектора $SV(\text{ПрС/С-решение})$, в левой части правила – соответствующий рациональный способ разрешения ПрС/С при таком конкретном описании проблемы. Примеры таких правил приведены в [4,5].

5.2. Механизмы вывода, построенные на базе алгоритмов многокритериального выбора.

Для ряда Антр/объектов (например, для пилотируемых летательных аппаратов) выделяются ПрС/С, сложность которых не позволяет сформулировать для них адекватные оптимизационные математические задачи, но для которых их экипажи на этапе подготовки к предстоящему сеансу функционирования Антр/объекта вырабатывают:

- а) множество альтернативных способов разрешения ПрС/С (альтернативы $\{A_i\} = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_n)$ разрешения ПрС/С);
- б) множество критериев $\{K_j\} = (K_1, \dots, K_j, \dots, K_k)$ оценки результата применения каждой альтернативы (критерии предпочтения).

При этом реализовавшаяся в сеансе функционирования конкретная ПрС/С этого типа, как правило, требует определенной адаптации каждой альтернативы A_i и, возможно, оперативной переоценки относительной важности критериев $\{K_j\}$.

Оперативный многокритериальный выбор наиболее предпочтительной альтернативы будем производить, используя метод парных сравнений Т. Саати [8].

Пусть имеется некоторая проблема и заданы альтернативы ее решения. Пусть в каждой альтернативе нас интересуют вполне определенные ее свойства, по которым мы будем сравнивать альтернативы при выборе наиболее приемлемой для нас. Назовем эти свойства критериями сравнения. Пусть имеется несколько критериев, по которым сравниваются альтернативы. Пусть имеется эксперт (эксперты), который имеет достаточно ясное представление о проблеме и об альтернативах решения этой проблемы, чтобы проводить их по парное сравнение по каждому критерию.

Метод многокритериального выбора альтернативы является систематической процедурой иерархического упорядочения элементов проблемы, позволяющей ранжировать альтернативы в порядке их предпочтительности по совокупности заданных критериев сравнения.

В базе знаний БОСЭС содержится математическая модель (ММ) генерирования вариантов альтернатив разрешения ПрС/С допустимых типов, вводимых в БОСЭС на этапе подготовки к сеансу функционирования Антр/объекта (для пилотируемых летательных аппаратов при подготовке вылета). ММ содержит алгоритмы вычисления значения критериев $K_j \in \{K_j\}$ для каждой генерируемой альтернативы.

На вход ММ подается текущая информация, характеризующая ПрС/С и допустимые типы альтернатив разрешения этой ПрС/С. В ММ на основании допустимых типов альтернатив и сложившихся условий наступления ПрС/С:

- генерируется полный набор альтернатив $\{A_i\}$ допустимых типов,
- для каждой альтернативы $A_i \in \{A_i\}$ рассчитываются числовые значения каждого критерия $K_j \in \{K_j\}$.

При этом возможна оперативная корректировка (БЦВМ-алгоритмом или экипажем) значений части координат вектора SV(ПрС/С-решение), характеризующих возникшую ПрС/С.

Таким образом, каждая альтернатива (из множества, сгенерированного ММ) охарактеризована вектором, координаты которого являются числовыми значениями критериев K_j .

На основании этих векторов составляются матрицы парных сравнений альтернатив для каждого критерия.

Отдельно стоит остановиться на матрице парных сравнений критериев. Ее составление требует максимального учета предпочтений экипажа, сформировавшихся у него на основании анализа сложившейся текущей (для сеанса функционирования) обстановки. Учитывая весьма скромные возможности экипажа по вводу такой информации, при составлении этой матрицы нужно максимально использовать свойство транзитивности матриц парных сравнений.

Вектор итоговых «весов» альтернатив рассчитывается после этого по алгоритму.

Пусть есть несколько альтернатив решения проблемы $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$, которые нужно упорядочить по критериям $K_1, \dots, K_j, \dots, K_s$.

Для каждого критерия K_j на основании матрицы парных сравнений проведем оценку «весов» альтернатив A_1, \dots, A_n

$$S(K_j) = \{S_1(K_j), \dots, S_i(K_j), \dots, S_n(K_j)\}$$

Для критериев методом парных сравнений с оценкой результатов сравнения по шкале Т.Саати определим «веса» их важности для исследователя $S = \{S_1, \dots, S_j, \dots, S_s\}$.

Тогда естественно для каждого A_i его «вес» по критерию $S_i(K_j)$ учитывать в итоговом по всем критериям «весе», умноженным на «вес» важности этого критерия.

Итоговый вес (приоритет, рейтинг) i -го предмета определяется по формуле

$$\|R_1, \dots, R_i, \dots, R_n\| = \|S_1, \dots, S_j, \dots, S_s\| \begin{vmatrix} S_1(K_1) & \dots & S_i(K_1) & \dots & S_n(K_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_1(K_j) & \dots & S_i(K_j) & \dots & S_n(K_j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_1(K_s) & \dots & S_i(K_s) & \dots & S_n(K_s) \end{vmatrix}$$

Итоговое ранжирование альтернатив A_1, \dots, A_n в задаче многокритериального выбора проводят по полученным итоговым «весам». Альтернатива с наибольшим итоговым «весом» является наиболее предпочтительной по всему множеству критериев сравнения

Пример реализации описанного механизма вывода дан в [9].

5.3. Механизмы вывода, основанные на прецедентах.

Эти механизмы вывода применяются в ПрС/С, сложность которых не позволяет провести их конструктивную формализацию, но по которым имеется опыт (прецеденты) их успешного разрешения.

Одна из трудностей этого подхода состоит в правильном подборе координат $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ ситуационного выбора SV(ПрС/С-решение) как по их количеству, так и по форме представления каждой координаты. Полнота описания ситуационного вектора и связь конкретного вектора с конкретным прецедентом устанавливается при длительной работе с экспертами - действительными носителями этого знания.

Как правило, координаты ситуационного вектора суть лингвистические переменные.

5.3.1. Матрицы знаний по прецедентам.

Пусть состояние ПрС/С описывается ситуационным вектором с координатами $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ и каждая координата x_i - лингвистическая переменная с множеством термов $A_i = \{a_i^1, \dots, a_i^j, \dots, a_i^{K_i}\}$. Для некоторых конкретных реализаций ситуационного вектора, когда каждая лингвистическая переменная принимает одно из своих возможных значений (конкретный терм), есть прецедент успешного разрешения этой ПрС/С.

Пусть накоплено множество $d_j, j = 1, \dots, p$ прецедентов и каждый из них связан с множеством конкретных ситуационных векторов, при которых он (прецедент) был избран.

Составим матрицу такого соответствия (табл.2). Сгруппируем строки матриц по прецедентам (блок прецедента). Каждая строка матрицы представляет собой конкретный ситуационный вектор, при котором в прошлом успешно реализовался соответствующий прецедент.

Перенумеруем строки блока прецедента d_j двумя индексами: первый индекс – номер прецедента (здесь он является номером блока), второй индекс – порядковый номер ситуационного вектора в этом блоке.

Таблица 2. Матрица знаний и механизм вывода на ней.

№ п/п	Координаты ситуационного вектора					min	max	d
	x_1		x_i		x_n			
:	:	:	:	:	:	:	:	:
j_1	$(a_1^{j_1})^*$	.....	$(a_i^{j_1})^*$	.....	$(a_n^{j_1})^*$	$\min_i (a_i^{j_1})^*$	$\max_{j_s} \min_i (a_i^{j_s})^*$	μ_{d_j}
:	:	:	:	:	:		
j_s	$(a_1^{j_s})^*$	.....	$(a_i^{j_s})^*$	.....	$(a_n^{j_s})^*$	$\min_i (a_i^{j_s})^*$		
:	:	:	:	:	:		
j_{K_j}	$(a_1^{j_{K_j}})^*$	.....	$(a_i^{j_{K_j}})^*$	.....	$(a_n^{j_{K_j}})^*$	$\min_i (a_i^{j_{K_j}})^*$		
:	:	:	:	:

Введённая матрица определяет систему логических высказываний вида «если ..., то ..., иначе ...». Например, строка матрицы j_1 шифрует высказывание:

$$\text{Если } x_1 = a_1^{j_1} \text{ и } x_2 = a_2^{j_1} \text{ и } \dots \text{ и } x_i = a_i^{j_1} \text{ и } \dots \text{ и } x_n = a_n^{j_1}, \text{ то } d_j, \quad (3.1)$$

иначе аналогичное выражение для следующей строки и т. д.

Полученную упорядоченную таким образом систему логических высказываний называют нечёткой матрицей знаний или просто – матрицей знаний.

5.3.2. Алгоритм вычисления функции принадлежности прецедента d_j .

Прежде всего, представим алгоритм [12] определения функции принадлежности $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ прецедента d_j , интерпретируемого как нечёткое множество на универсальном множестве. $Ud = Ux_1 \times \dots \times Ux_i \times \dots \times Ux_n$, где Ux_i - универсальное множество, на котором заданы термы лингвистической переменной x_i , а Ud – декартово произведение универсальных множеств Ux_i .

Каждое логическое высказывание типа (3.1) или, что тоже, каждая строка матрицы знаний представляет собой нечёткое отношение соответствующих нечётких множеств. Так для (3.1.) это будет

$$a_1^{j_1} \times a_2^{j_1} \times \dots \times a_n^{j_1}$$

Функция принадлежности нечёткого множества, образованного этим нечетким отношением в соответствии с [10,11] будет

$$\mu_{a_1^{j_1}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i^{j_i}}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n^{j_n}}(x_n),$$

где через “ \wedge ” обозначена операция “min”.

Анализируя весь блок логических высказываний, относящийся к прецеденту d_j (блок соответствующих строк матрицы знаний), замечаем, что они представляют собой объединение соответствующих нечётких множеств, образовавшихся при рассмотрении строк выделенного блока. Функция принадлежности этого объединения, отождествляемая с функцией принадлежности прецедента d_j , в соответствии с [10,11] будет

$$\begin{aligned} \mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = & (\mu_{a_1^{j_1}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i^{j_i}}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n^{j_n}}(x_n)) \vee \\ & \dots \vee (\mu_{a_1^{j_{k_j}}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i^{j_{k_j}}}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n^{j_{k_j}}}(x_n)) \end{aligned}$$

где через « \vee » обозначена операция “max”.

Формально представленный алгоритм определения функции принадлежности прецедента d_j можно записать в виде:

а) фиксируем произвольную точку $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*) \in U_{x_1} \times \dots \times U_{x_i} \times \dots \times U_{x_n}$,

б) для каждого блока матрицы знаний, соответствующего d_j , определяем $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ в этой точке согласно схеме таб. 2.

Заметим, что для фиксированной точки $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$ блок матрицы, представленный в табл. 3., является числовым, так как вместо каждого термина $a_i^{j_s}$ из этого блока поставлено значение его функции принадлежности $(a_i^{j_s})^*$, вычисленное в соответствующей x_i^* . Операция $\min_i a_i^{j_s}$ производится над числами, стоящими в строках “i”, $1 \leq i \leq n$ и в столбец “min” заносится минимальное число в соответствующей строке. Операция $\max_{j_s} \min_i a_i^{j_s}$ выделяет среди полученных строчных минимумов $1 \leq j_s \leq K_j$ наибольший. Это число и является значением функции принадлежности $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ в этой фиксированной точке $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$. Проведя такие вычисления для каждой точки универсального множества, получим интересующие нас функции принадлежности.

5.3.3. Алгоритм выбора прецедента при наблюдении ситуационного вектора с количественными координатами

При наблюдении ситуационного вектора [12] с количественными координатами (все координаты вектора измерены по числовым шкалам) для выбора наиболее подходящего прецедента вовсе нет необходимости полностью определять функции принадлежности $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ на всем множестве точек универсального множества. Достаточно рассчитать их значение только для фиксированных числовых значений координат вектора, который мы получили в результате наблюдения. Для этого придется однократно воспользоваться алгоритмом п. 5.3.2, беря в качестве $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$ координаты наблюдаемого ситуационного вектора.

В результате для каждого прецедента d_j мы получим число $d_j(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$, являющееся степенью принадлежности d_j точке $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$.

Исходя из такой интерпретации, наиболее предпочтительным прецедентом для разрешения наблюдаемой ПрС/С будет прецедент d_j^* , для которого

$$d_j^*(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*) = \max_{1 \leq j \leq p} d_j(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*).$$

Заключение

1. Бортовые оперативно советующие экспертные системы (БОСЭС) – интеллектуальные системы, решающие задачи второго глобального уровня управления, Они предлагают экипажу эффективный способ достижения оперативно поставленной цели (задачи) в каждый текущий момент сеанса функционирования антропоцентрического объекта.

2. Адекватными механизмами вывода в базе знаний БОСЭС являются:

- продукционные правила,
- многокритериальный выбор альтернативы,
- вывод по прецеденту.

3. Разработка баз знаний БОСЭС требует использования новой макро модели антропоцентрического объекта, использующей понятия:

а) для описания среды функционирования антропоцентрического объекта:

- сеанс функционирования,
- семантическая сеть типовых ситуаций,
- семантическая сеть проблемных субситуаций;

б) для описания семантической структуры антропоцентрического объекта:

- первый глобальный уровень управления,
- второй глобальный уровень управления,
- третий глобальный уровень управления.

Литература

- [1] Федун Б.Е. Проблемы разработки бортовых оперативно-советующих экспертных систем. // Изв. РАН. Теория и системы управления, № 5, 1996.
- [2] Федун Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем. // Изв. РАН. Теория и системы управления, №4, 2002.
- [3] Федун Б.Е. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). М.: НИЦ ГосНИИАС, 2002.
- [4] Романова В.Д., Федун Б.Е., Юневич Н.Д. Исследовательский прототип БОСЭС «Дуэль». // Изв. РАН. Теория и системы управления, № 5, 1995.
- [5] Авиация ПВО и научно - технический прогресс. Под редакцией акад. РАН Е.А.Федосова. — М: Дрофа, 2001.
- [6] Гейтс Билл. Бизнес со скоростью мысли. Пер. с английского. — Эксмо-пресс.2001.
- [7] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М., Физматлит. 2002.
- [8] Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.
- [9] Мусарев Л.М., Федун Б.Е. Структура бортовых алгоритмов целераспределения командира. // Изв. РАН. ТиСУ. 2001. №6.
- [10] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений. М.: Радио и связь, 1976.
- [11] Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982.
- [12] Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. Винница: Универсум, 1999.

Информация об авторе

Федун Борис Евгеньевич – ФГУП ГосНИИ авиационных систем (ГосНИИАС); Москва, ул. Викторенко 7; Тел (495) 157-93-49. Email: boris_fed@gosnias.ru

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОМПЛЕКТОВАНИЯ

Виталий Снитюк, Павел Кучер

Аннотация: В статье рассмотрена технология решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники с использованием многокритериальной оптимизации, последовательного анализа вариантов и эволюционного моделирования. Разработаны модели, служащие информационно-аналитическим базисом формирования интегрального критерия.

Ключевые слова: эволюционное моделирование, целевая функция, аварийно-спасательная техника.

ACM Classification Keywords I.2 Artificial Intelligence, H.4 Information Systems Applications, J.6 Computer-aided Engineering.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Описание проблемной области

Актуальность задачи комплектации аварийно-спасательной техники (КАСТ) определяется динамикой роста ситуаций, в которых необходимым является ее использование, а также увеличением техногенной нагруженности окружающей среды. На практике решение задачи КАСТ принимается ответственным лицом, исходя из собственного опыта, следствием чего при выполнении аварийно-спасательных работ зачастую является отсутствие необходимого инструментария вообще, или невозможность выполнения задания в полном объеме.

Задача КАСТ является логическим продолжением ряда задач, рассматривающихся ранее на конференциях KDS-2006 и KDS-2007, и решаемых с использованием технологий Soft Computing, в частности, это определение кратчайшего маршрута следования пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска [Snytyuk, 2007], пути и времени распространения огня к особо опасному объекту [Снитюк, 2007].

Современное состояние в рассматриваемой области характеризуется значительно расширенным ассортиментом противопожарной и спасательной продукции, снятием ограничений на импорт зарубежных образцов, но существованием определенного дефицита финансовых ресурсов. Нельзя также не обратить внимание на необходимость обеспечения широкой функциональности и максимальной мощности оборудования.

Очевидно, что задача КАСТ имеет много общего с известной задачей упаковки в контейнеры [Lodi, 2002]. Задача упаковки в контейнеры заключается в размещении объектов предопределенной формы таким образом, чтобы число использованных контейнеров было наименьшим или объем объектов был наибольшим. В задаче КАСТ целевая функция задачи об упаковке преобразовывается в ограничения на габаритные размеры элементов. Целевыми функциями являются функциональность, мощность, стоимость, другие характеристики элементов АСТ. Поэтому первоочередной задачей является формирование интегрального критерия и представление потенциальных решений задачи. Аспекты ее решения предложены ниже.

Постановка задачи

Пусть множество $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляет ассортимент аварийно-спасательной техники. Каждый элемент множества X принадлежит к одному из классов множества $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, где $k \ll n$. Предположим, что в комплект должно входить оборудование из каждого из $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ классов, $m < k$, т.е. $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_j}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m\} \subset C_m$. Каждому элементу множества X поставим в соответствие совокупность значений:

$$X_q \rightarrow \langle F_q, F_{2q}, F_{3q}, a_q, b_q, c_q \rangle, \quad (1)$$

где F_q – значение функциональности q -го элемента; F_{2q} – значение его производительности (мощности); F_{3q} – цена элемента; a_q, b_q, c_q – его габаритные размеры, $q = \overline{1, n}$.

Сделаем упрощающие замечания. Пусть все элементы имеют форму прямоугольного параллелепипеда и они должны быть размещены в прямоугольном контейнере. Кроме того, в контейнере должны быть по одному элементу из каждого класса.

Задача КАСТ сводится к задаче многокритериальной оптимизации:

$$F_1(x) \rightarrow \max, F_2(x) \rightarrow \max, F_3(x) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $x = (x_{i_1}^1, x_{i_2}^2, \dots, x_{i_m}^m), x_{i_j}^j \in C_j$ при ограничениях:

$$F_1(x_{i_j}^j) \geq F_{1\min}^j, F_2(x_{i_j}^j) \geq F_{2\min}^j, F_3(x_{i_j}^j) \leq F_{3\max}^j, F_i(\cdot) > 0, i = \overline{1, 3}, \quad (3)$$

$$0 < a_q(x_{i_j}^j) < \max\{a, b, c\}, 0 < b_q(x_{i_j}^j) < \max\{a, b, c\}, 0 < c_q(x_{i_j}^j) < \max\{a, b, c\}, \quad (4)$$

где $a_q(x_{i_j}^j), b_q(x_{i_j}^j), c_q(x_{i_j}^j)$ – габаритные размеры элемента АСТ, a, b, c – габаритные размеры контейнера.

Задача (2)-(4) может быть сведена к задаче дискретного сепарабельного программирования [Волкович, 1993]:

$$\text{найти } \max F(x) = \sum_{i=1}^N F_i(x_i),$$

при ограничениях:

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^N g_p(x_i) \leq g_p^*, \quad p = \overline{1, q},$$

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^N g_p(x_i) \geq g_p^*, \quad p = \overline{q+1, Q},$$

где $F_i(x_i), g_p(x_i)$ – функции дискретного аргумента, заданные таблично.

Известно, что задачи такого рода относят к NP-полным. Но, очевидно, что в постановке (2)-(4) могут быть сделаны предположения, упрощающие процесс ее решения. Нам представляется рациональным использовать идеи решения задач многокритериальной оптимизации [Черноруцкий, 2005], [Волошин, 2006], метода последовательного анализа вариантов [Михалевич, 1982; Волкович, 1993] и эволюционного моделирования [Михалевич, 1996].

Информационно-аналитические модели

В основе эффективного решения задачи (2)-(4) лежат такие предпосылки:

1. Формирование комплекса моделей, которые позволят осуществить идентификацию критериальных функций.
2. Разработка интегрального критерия, получение значений которого позволит установить предпочтения на множестве вариантов.

Рассмотрим задачу формирования комплекса моделей, которые составляют информационно-аналитический базис исследования. Известно, что при создании сложных систем традиционно [Тимченко, 1991] используют модели строения, функционирования и развития.

В нашем случае модель строения имеет вид:

$$M_s = \langle X_1, X_2, \dots, X_n \rangle, \quad (5)$$

где n – количество элементов АСТ. Модель строения является базисом, который предназначен для формирования множества элементов и структуры при комплектовании АСТ.

Модель функционирования

$$M_f = \langle G_1, G_2, \dots, G_n \rangle, \quad (6)$$

где $G_i, i = \overline{1, n}$, – преобразование, которое реализуется i -м элементом, причем $Y_i = G_i(I_i, R_i, P_i)$, Y_i – некоторая характеристика, которая определяется преобразованием G_i и указывающая на его результат, I_i – априорная информация о типах аварийных ситуаций, их масштабах и возможных последствиях, R_i – материальные и энергетические ресурсы, необходимые для функционирования элемента X_i и получения значения Y_i , P_i – особенности процесса преобразования $\langle I_i, R_i \rangle \rightarrow Y_i, i = \overline{1, n}$.

Третью модель – модель развития представим, используя принадлежность элементов классам

$$M_d = \langle (X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_n}^1), \dots, (X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m) \rangle \quad (7)$$

где m – количество классов элементов АСТ, выполняющих подобные функции. В пределах каждой совокупности элементы могут быть упорядочены по уровню функциональности, мощности и по стоимости. Возможны также варианты упорядочения по значению габаритов.

Предложенные модели образуют базис для формирования критериев, которые будут использованы при принятии решений по выбору оптимального варианта комплектации АСТ в условиях ресурсного дефицита.

Особенности построения интегральной целевой функции

Задача комплектования АСТ имеет особенности, к которым относятся многокритериальность, разноразмерность значений критериальных функций, слабоструктурированность. Рассмотрим аспекты формирования интегрального критерия (целевой функции), исходя из известных методов решения задач многокритериальной оптимизации [Паричев, 2003]. Заметим, что функции (2) могут задаваться таблично, так и иметь вид аналитических зависимостей.

1. Метод главного критерия. Предположим, что главным критерием является стоимость элемента АСТ. Тогда задача (2)-(4) преобразуется к такому виду:

$$F_3(x) \rightarrow \min, x = (x_{i_1}^1, x_{i_2}^2, \dots, x_{i_m}^m), x_{i_j}^m \in C_j, \quad (8)$$

$$x \in D, D = \{x / F_{i_{\min}} < F_i(x), i = \overline{1,2}\} \quad (9)$$

и выполнено (4). В задаче (8)-(9) $F_{j_{\min}}, j = \overline{1,2}$, – минимально возможное значение i -го критерия. Таким образом, получаем задачу однокритериальной оптимизации. Ее решение в случае известных значений F_1, F_2, F_3 для всех элементов сводится к поиску

$$x_1^* = \max_{x \in D} F_3(x), \quad (10)$$

где D – область, в которой выполняются ограничения (3) и (4). Если $x_1^* \in D$, то решение найдено, если нет – ищем

$$x_2^* = \max_{\substack{x \in D \\ x \neq x_1^*}} F_3(x) \text{ и т. д.} \quad (11)$$

Если $\exists x_i^* : x_i^* = \max_{x \in D} F_3(x), x_i^* \in D$, то задача имеет решение, в противном случае – решения нет.

2. Метод линейной свертки. Необходимыми условиями реализации метода являются:

- нормализация значений критериальных функций;
- определение весовых коэффициентов критериев.

Тогда интегральный критерий будет таким:

$$F(x) = \alpha_1 F_1(x) + \alpha_2 F_2(x) - \alpha_3 F_3(x) \rightarrow \max, \quad (12)$$

где $\alpha_i > 0, i = \overline{1,3}, \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$. Если известны значения критериальных функций и интегрального критерия на множестве контрольных точек (элементах АСТ), то коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ могут быть рассчитаны, например, по методу наименьших квадратов. Однако, это не всегда возможно, тем более, что скорее всего в массиве начальных данных будет иметь место мультиколлинеарность факторов и результат будет смещенным. В других случаях необходимо использовать техники обработки экспертных оценок.

3. Метод идеальной точки. Идеальной называется такая точка (x_1^*, x_2^*, x_3^*) , что $x_i^* = \max_{x \in D} F_i(x), i = \overline{1,3}$. Решив задачи однокритериальной оптимизации, идеальная точка будет найдена. Тогда дальнейшее решение заключается в поиске такой точки:

$$x^* = \text{Argmin}_{x \in D} \left(\sum_{i=1}^3 (F_i(x) - x_i^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Значения критериальных функций должны быть нормированы и если критериальные функции имеют весовые коэффициенты, то задачу (13) перепишем в виде:

$$x^* = \text{Argmin}_{x \in D} \left(\sum_{i=1}^3 \alpha_i (F_i(x) - x_i^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (14)$$

где $\alpha_i > 0, i = \overline{1,3}, \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$.

Существуют и другие методы решения задач многокритериальной оптимизации, такие как выбор по количеству доминирующих критериев, метод последовательных уступок, последовательного ввода ограничений и т.д., но все они требуют привлечения дополнительной информации, которой может и не быть. Потому для решения нашей задачи мы остановились на вышеприведенных трех методах.

Предварительные шаги, сокращающие количество вариантов решения задачи

1. Удаление возможных вариантов решения задачи, которые строго доминируются хотя бы одним из других вариантов. Заметим, что такая операция может быть выполнена в начале реализации поиска решения задачи, если мощность множества вариантов сравнительно небольшая. Если это не так, то проверка на доминирование осуществляется в процессе решения задачи для каждого элемента отдельно.
2. Необходимо осуществить предварительную проверку, не существует ли такого элемента АСТ, что

$$(a_q > \max\{a, b, c\}) \vee (b_q > \max\{a, b, c\}) \vee (c_q > \max\{a, b, c\}); \quad (15)$$

не существует ли такого набора элементов АСТ, что

$$\left(\sum_{q=1}^3 a_q > \max\{a, b, c\}\right) \vee \left(\sum_{q=1}^3 b_q > \max\{a, b, c\}\right) \vee \left(\sum_{q=1}^3 c_q > \max\{a, b, c\}\right). \quad (16)$$

Если элементы или наборы элементов удовлетворяющие (15) или (16), соответственно, существуют, то их необходимо удалить а priori, или в процессе решения задачи. Аналогично, используя схему последовательного анализа вариантов, удаляем варианты, общая функциональность или мощность которых меньше минимально возможной, а также те, стоимость которых превышает допустимую величину.

Основные направления решения задачи

Поскольку необходимо найти оптимум функции, заданной таблично, при указанных ограничениях, и о свойствах которой ничего не известно, то нам представляется рациональным применение эволюционного моделирования. Выбор метода эволюционного моделирования является прерогативой исследователя.

Предположим, что мы используем генетический алгоритм [Holland, 1994]. Известно, что его реализацию сопровождают две проблемы: формирование целевой функции и представление потенциальных решений в виде бинарных хромосом. В нашей задаче целевая функция уже получена. Для формирования хромосом-решений предложим такой подход. Поскольку решение является набором из m элементов, то и длина хромосомы будет m . Каждая ее позиция отвечает одному элементу АСТ. Все элементы хромосомы принадлежат одному классу.

Каждый элемент имеет 3 фрагмента. Первый соответствует значению функциональности, второй – мощности, а третий – стоимости. Таким образом, хромосома-решение будет иметь $3m$ фрагментов. На начальном этапе все значения характеристик элементов были нормированы, их значения находятся в отрезке $[0,1]$. Далее применяются все известные процедуры генетического алгоритма. Заметим, что полученное решение может не соответствовать ни одному потенциальному варианту. Тогда необходимо найти ближайшее к нему решение по критерию минимума среднеквадратического расстояния. Применение генетического алгоритма предпочтительно в том случае, когда известны значения частных критериальных функций. Для решения задачи также рациональным является применение эволюционных стратегий [Rechenberg, 1994].

Заключение

Рассмотренная задача комплектования аварийно-спасательной техники является сложной многокритериальной задачей. Ее сложность зависит от качества элементов АСТ и носителей, на которые они будут установлены. Новые образцы техники, их эволюция указывают на необходимость поиска оптимального решения задачи КАСТ. Технология, которая предлагается в статье, базируется на элементах трех составляющих: многокритериальной оптимизации, последовательного анализа вариантов,

эволюционного моделирования и объединяет в себе их преимущества. Перспективным является композиционное использование эволюционного моделирования и последовательного анализа вариантов. Определение порядка такого использования, оптимизация параметров, исследование точности составляет самостоятельную актуальную научную задачу. В настоящее время проводятся эксперименты по разработке быстродействующих алгоритмов на основе предложенного подхода. Кроме того, поскольку большинство элементов АСТ имеют многоцелевое назначение, различные аварийно-спасательные задачи с их помощью могут решаться с разной эффективностью то задача комплектования с учетом этого фактора требует применения методов теории нечетких множеств.

Литература

- [Snytyuk, 2007] Snytyuk V., Dghulay O. Evolutionary technique of shorter route determination of fire brigade following to fire place with the optimized space of search // information Technologies and Knowledge. – 2007. – Vol. 1. – № 4. P. 325-332.
- [Снитюк, 2007] Снитюк В., Биченко А. Эволюционное моделирование процесса распространения пожара // Bulgaria, Varna. Proc. XIII-th Int. Conf. Knowledge-dialogue-Solution”, 2007 (June). P. 247-254.
- [Lodi, 2002] Lodi A., Martello S., Vigo D. Recent advances on two-dimensional bin packing problems. Discrete Appl. Math., 2002. – Vol. 123. P. 379-396.
- [Черноруцкий, 2005] Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – Санкт-Петербург: BHV, 2005. 416с.
- [Волошин, 2006] Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Теория принятия решений. – Киев: Киевский университет, 2006. 304с.
- [Волкович, 1993] Модели и методы оптимизации надежности сложных систем // Волкович В.Л., Волошин О.Ф.– Киев: Наукова думка, 1993. 312с.
- [Михалевич, 1982] Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. 286с.
- [Michalewicz, 1996] Michalewicz Z. Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1996. 387p.
- [Тимченко, 1991] Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. – Киев, Наукова думка, 1991. 231с.
- [Ларичев, 2003] Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – Москва, Логос, 2003.
- [Holland, 1994] Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence. – London: Bradford book edition, 1994. 211 p.
- [Rechenberg, 1994] Rechenberg I. Evolutionsstrategie “94”. – Stuttgart-Bad GannStatt: Frommann Halzboog. 1994. 434p.

Информация об авторах

Виталий Снитюк – зав. кафедрой информационных технологий проектирования, Черкасский государственный технологический университет, 18030, бульвар Шевченко 460, Черкассы, Украина; e-mail: svit@artint.com.ua

Павел Кучер – преподаватель, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, 18000, ул. Оноприенко, 8, Черкассы, Украина; e-mail: kucherpp@ukr.net

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЗАДАЧ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ИНФОРМАЦИОННОГО ЕДИНСТВА

Александр Джулай, Артем Быченко

Аннотация: В статье рассмотрены особенности проектирования системы поддержки принятия решений «Безопасность», предназначенной для информационно-консультативного сопровождения процессов принятия решений руководителями пожарных подразделений во время тушения пожара.

Ключевые слова: моделирование, принятие решений.

ACM Classification Keywords: H.4 Information Systems Applications, J.6 Computer-aided Engineering.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Аспекты проблемной области

Проектирование сложных систем, как известно [Тимченко, 2000; Тимченко, 1991], имеет в своей основе логическую схему Ξ . Разработка такой логической схемы для создания информационно-аналитического обеспечения (ИАО) процессов принятия решений (ППР) противопожарными подразделениями является актуальной современной задачей, поскольку определенные наработки в этой области имеют разрозненный характер и, чаще всего, ограничиваются сбором и анализом статистического материала. Необходимым является создание автоматизированных систем (АС), которые в режиме реального времени предоставляли бы возможность прогнозирования ситуации и указывали на оптимальное распределение ресурсов и, как следствие, были направлены на уменьшение ошибок при пожаротушении.

Формирование совокупности релевантных задач

Для внесения порядка в процесс создания АС поддержки ППР необходимо разработать схему Ξ , определить наполнение ее составляющих, их приоритеты и взаимодействие.

Формируя логическую схему, сделаем предварительные предположения [Джулай, 2004]. Модель АС М имеет две составляющие: ИБ – модель информационного банка, который содержит данные о пожарах, их особенностях и ошибках при тушении; ПМ – программный модуль, с помощью которого решаются задачи обслуживания ИБ, анализа и прогнозирования процессов противопожарной защиты. В качестве начальных данных используем данные карт пожаротушения, в которых находится информация о параметрах объекта, на котором возник пожар, особенностях его окружения, факторах окружающей среды и особенностях организации процесса пожаротушения. Ограничения содержат данные о наличии или отсутствии определенных ресурсов и кадровом составе. Проектным решением должна стать автоматизированная система поддержки принятия решений (АСППР), включающая в себя ИБ и ПМ. Оценка проектного решения R определяется такими критериями: полнотой ИБ, его информативностью (способностью к минимизации энтропии процессов решения аналитических задач), точностью идентификации оценки уровня противопожарной безопасности объекта и прогнозирования сценариев развития событий.

Процедура решения задачи создания АС декомпозируется на логически связанную, структурированную систему подзадач:

- определение факторов, которые осуществляют наибольшее влияние на уровень пожарной безопасности жилого объекта;
- определение структуры информационного банка и типизация его составляющих;
- разработка программного обеспечения функционирования ИБ;
- разработка процедуры унификации входных факторов;
- применение методов увеличения информативности входных данных с выявлением причинно-следственных связей;
- идентификация зависимости между уровнем пожарной безопасности объекта и значимыми факторами;
- расчет оптимального кадрового состава и материально-технического обеспечения в режиме реального времени.

Предложенная логическая схема проектирования вместе со структурированными задачами позволяет на единой информационно-методологической базе разработать АС, функционирование которой значительно улучшит аналитическое обеспечение процессов принятия решений в условиях критичности времени и ограниченности ресурсного потенциала. Проблемным остается решение вопросов, связанных с наполнением ИБ данными о жилых объектах и создании клиент-серверной архитектуры с сосредоточенным ИБ на сервере и ПМ на рабочих станциях, который позволит модифицировать данные в ИБ и выполнять нужные расчеты для каждого отдельного подразделения.

Особенности проектирования АСППР

Разработку АСППРР, предназначенной для информационно-консультативного сопровождения процессов принятия решений, необходимо выполнить в соответствии с уровнями системной модели [Тимченко, 1991]:

<цели> → <задачи> → <методы, алгоритмы> → <средства> ,

учитывая технический, технологический, экономический и организационный аспекты. Кроме операций с ИБ и процедур формирования отчетов, основой ИАС является банк математических моделей и методов, которые являются инкапсулированными и недоступными для пользователя системы и подлежат изменениям, дополнениям и усовершенствованиям системным аналитиком. При решении определенного класса задач обеспечено резервирование методов, то есть одна и та же задача решается разными методами, а результаты анализируются и усредняются с определенными весовыми коэффициентами. Так, для структурной и параметрической идентификации оценки уровня пожарной безопасности используются такие модели: парная линейная регрессия, множественная линейная регрессия, множественная нелинейная регрессия, часовые ряды, интерполяционные полиномы, нейронные сети и методы: наименьших квадратов, метод Брандона, алгоритм обратного распространения ошибки, Левенберга-Марквардта и другие.

Детализируя структуру ИБ, отметим присутствие в нем пяти таблиц. Первая таблица содержит информацию о техническом парке, ресурсном обеспечении, средствах пожаротушения, кадровом составе, других технических данных. Во вторую таблицу заносят информацию о пожарах непосредственно из карточки учета пожара. Данные об ошибках личного состава при пожаротушении находятся в третьей таблице и связываются с данными второй таблицы по ключевому полю KEYFIELD. В четвертой таблице собрана информация о внутренних и внешних параметрах объекта, исходя из позиций пожарной безопасности. Безусловно, главную роль играет информация, которая сосредоточена в пятой таблице: результаты исследования уровня пожарной безопасности объектов жилого сектора, анализ ошибок личного состава и ситуаций их возникновения, оптимальные маршруты проезда к каждому из перекрестков.

Информацию, которая заносится в ИБ оператором или внутренними модулями при функционировании, разделяют на две составляющие: статическую и динамическую [Джулай, .2005]. Данные первого типа – информация о новых домах, пожарах и т.п., динамические данные отображают текущую ситуацию с дорожными и погодными условиями, изменения параметров жилых объектов и такие, которые нужны для оперативных расчетов.

АСППР “БЕЗОПАСНОСТЬ” работает в двух режимах: текущем и оперативном. При текущем режиме:

- выполняется идентификация уровней пожарной безопасности жилых объектов и формируются данные необходимые для отчетов;
- выполняются расчеты оптимальных путей проезда пожарного подразделения ко всем перекресткам зоны ответственности;
- при изменении параметров, от которых зависит время проезда, выполняется пересчет;
- выполняется анализ ошибок, устанавливаются связи между ними и определяются соотношения между пожаротушением определенных объектов и типами ошибок;
- выполняется расчет времени и пути распространения пожара до опасного объекта.

Для повседневного функционирования используется техническая информация, на базе которой формируются отчеты и строевые записки. Выполнение профилактических мероприятий базируется на данных расчетов, анализе приоритетности и значениях внутренних и внешних параметров жилых объектов.

При поступлении вызова в пожарной части по адресу объекта, на котором возник пожар, формируется информационно-аналитическая записка, которая содержит такие данные:

- значение внутренних и внешних параметров объекта;
- оценку уровня его пожарной безопасности с обоснованием;
- анализ ошибок, допущенных при тушении типичных объектов и в типичных ситуациях;
- рекомендованный маршрут проезда к месту пожара
- план-карта возможных путей распространения пожара до особо опасного объекта.

Такая информация позволит в режиме реального времени быстро оценивать ситуацию, принимать правильные решения, минимизировать вероятности ошибок, минимизировать время проезда пожарного подразделения к месту пожара, а также время его локализации и ликвидации, что будет способствовать предотвращению человеческих жертв и материальных убытков.

Для выполнения расчета времени и возможных путей распространения пожара требуется решить ряд задач:

- определить аспекты моделирования процесса распространения пожара в каждом из помещений особо опасного объекта с учетом особенностей его архитектуры A , строительных материалов (C_1, C_2, \dots, C_n) , оборудования (O_1, O_2, \dots, O_m) , других факторов R и разработать математическую модель расчета скорости распространения пожара

$$V = F(C_1, C_2, \dots, C_n, A, O_1, O_2, \dots, O_m, R); \quad (1)$$

- определить время T_{ij} распространения пожара из одного помещения в другое, используя информацию о типе перекрытий (P_1, P_2, \dots, P_k) , кабельных шахтах (S_1, S_2, \dots, S_q) , окнах (W_1, W_2, \dots, W_g) , дверях (D_1, D_2, \dots, D_b) , воздуховодах (H_1, H_2, \dots, H_u) , технологических проемах (V_1, V_2, \dots, V_z) , и разработать алгоритм аппроксимации периметра пожара

$$P = G(P_1, P_2, \dots, P_k, S_1, S_2, \dots, S_g, W_1, W_2, \dots, W_g, D_1, D_2, \dots, D_b, H_1, H_2, \dots, H_u, V_1, V_2, \dots, V_z), \quad (2)$$

где под периметром будем понимать длину границы распространения огня, имеющую форму круга, кругового сектора или прямоугольника.

Идентификация зависимостей (1) и (2) является достаточно трудной задачей, поскольку необходимо учитывать большое число факторов, не каждый из которых имеет точное численное значение, или значение в интервале, что обусловлено различием справочной информации и реальным состоянием; строительные материалы имеют разный уровень износа; взаимодействие факторов может приводить к непрогнозируемым последствиям. Несмотря на все эти обстоятельства, очевидно, что разработка и использование моделей (1) и (2) является необходимым условием минимизации риска катастрофических последствий пожаров на особо опасных объектах.

Информационным базисом моделирования служит база данных, которая в дальнейшем будет преобразовываться в банк знаний. При проектировании базы данных необходимо учитывать такие аспекты:

- испытания показывают, что не у всех новых строительных конструкций, удовлетворяющих условиям надежной эксплуатации в нормальных условиях, обеспечивается требуемая огнестойкость;
- ее таблицы должны содержать информацию о фундаментальных законах тепломассопереноса, учитывающие закономерности горения материалов;
- информация должна быть представлена таким образом, чтобы процесс расчетов мог быть полностью автоматизированным и требовал минимального экспертного присутствия;
- существовала возможность оперативного внесения данных, являющихся исходной информацией для прогнозирования;
- предусмотреть учет степени изношенности строений; наличие легковоспламеняющихся предметов, синтетических изделий и техники, что увеличивает возможность возникновения пожаров и делает самый незначительный пожар чрезвычайно опасным, а также данных о потенциальных источниках опасности – подвалах и чердаках, кабельных коммуникациях;
- разработать структуру баз данных таким образом, чтобы в них можно было представлять нечеткую информацию;
- в качестве элементного базиса считать помещения, для них указывать особенности внутренней и внешней архитектуры, наличие и состояние возможных путей распространения пожара с указанием типовых и экспертно определяемых значений скорости и направления распространения пожара.

При формировании таблиц базы данных необходимо обратить внимание на субъективизм экспертов и способы верификации полученной нечеткой информации. Одним из них есть определение компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности [Снитюк, 2000] и учет их суждений с соответствующими весовыми коэффициентами.

Представление нечеткой информации объективизируют с помощью интервального представления или определения лингвистических переменных и построения функций принадлежности [Аверкин, 1986]. Если эксперты уверены в том, что значения параметра могут быть среди чисел интервала $[a, b]$ без предпочтений, то достаточно выбрать интервальное представление информации. Использование треугольных функций принадлежности рационально в том случае, когда отсутствует постоянная уверенность в том, что значения фактора принадлежат некоторому интервалу. Для представления таких функций достаточно двух параметров, поскольку значения фактора $X_i \in (c - a, c + a)$, где c – значение, уверенность в получении которого является наибольшей. Трапециевидная функция принадлежности [Дюбуа, 1990] применяется в том случае, когда существует максимальная одинаковая уверенность в принадлежности значения параметра интервалу (\underline{m}, \bar{m}) . Достаточно часто, например [Згуровский, 1990],

предлагают использовать колоколообразные функции принадлежности $\mu = \frac{1}{1 + ((x - b)/a)^2}$. Они являются двухпараметрическими. В связи с таким разнообразием представления нечеткой информации возникает задача определения и оптимальности каждого варианта.

Важным является аспект верификации полученного формального представления, поскольку проведение натурального эксперимента невозможно. Будем предполагать, что решение задач идентификации (1) и (2), т.е. скорость и периметр распространения огня является нечеткими переменными. Представления их функций принадлежности заносят в базу данных вместе с правилами такого типа:

Если $(X_1 = a_{11}) \& (X_2 = a_{12}) \& \dots \& (X_n = a_{1n})$ с весом w_1 , то $Y = y_1$,

иначе, если $(X_1 = a_{21}) \& (X_2 = a_{22}) \& \dots \& (X_n = a_{2n})$ с весом w_2 , то $Y = y_2$,

иначе, если $(X_1 = a_{m1}) \& (X_2 = a_{m2}) \& \dots \& (X_n = a_{mn})$ с весом w_m , то $Y = y_m$.

Значение каждого выражения в скобках и результирующего выражения определяется значением соответствующей функции принадлежности. Базы данных, включающие такие значения, превращаются в нечеткие базы знаний [Ротштейн, 1999; Снитюк, 2006], поскольку позволяют осуществлять структурную и параметрическую идентификацию зависимостей (1) и (2) и получать новые знания из существующих данных. Важно понимать, что нельзя применять вероятностные модели, которые требуют однородных выборок с необходимостью многократного повторения типового процесса, что для особо опасных объектов неразрешимая задача. Это еще раз свидетельствует в пользу применения нечеткого моделирования.

При построении моделей (1) и (2) возникает проблема определения факторов, являющихся наиболее значимыми для определения скорости и путей распространения огня. Она связана с большим количеством факторов и значительным субъективизмом определения их значений, что вносит шумовой эффект в решение задачи идентификации.

Нерешенные задачи и перспективы исследований

Значительная информационная насыщенность итерационного процесса формирования модели и, собственно, моделирования требует привлечения методов интеллектуального анализа данных, проведения верификации априорных данных, методов и результатов моделирования. Не исключено, что полученные модели будут уникальными и смогут быть использованными на других объектах. Но как уже указывалось ранее, такой подход в ситуации особо опасных производств является оправданным.

Поскольку процесс распространения пожара является координатно привязанным, то результатом реализации предлагаемой технологии должна стать некая геоинформационная система. Входной информацией для нее будет точка возникновения пожара, на выходе по запросу пользователя будет получена карта развития пожара с указанием скорости и наиболее вероятных путей распространения огня, а также время, через которое он достигнет указанной точки. Такие же задачи необходимо решать и при определении уровня задымления помещений.

Современные технологии формирования описаний элементной структуры и динамических процессов, основанные на применении вычислительной техники и создаваемые в виде компьютерных многофункциональных баз данных, позволяют автоматизировать процесс анализа нечеткой информации и прогнозирования развития ситуации на основе автоматизированной системы управления базами данных. Они открывают новые возможности для объективизации экспертной оценки параметров помещений особо опасного объекта и временных характеристик процесса развития пожара. Безусловно, реализация таких технологий требует проведения комплекса научных, технических и организационных задач.

Разработка и внедрение моделей, методов и средств, базирующихся на обработке нечеткой, а также, возможно, неполной информации даст возможность адекватного реагирования на наиболее опасном

направлении развития пожара и своевременного предупреждения о возможности возникновения критической ситуации в той или иной точке объекта.

Предлагаемый подход направлен на реализацию информационно-консультативной геоинформационной системы, которая даст возможность прогнозирования процесса развития пожара в пространственно-временной системе координат. Заметим, что этот процесс сопровождаются проблемы интерпретации полученных результатов как нечеткой информации и оптимизации идентифицируемых зависимостей, направленных на повышение точности расчетов.

Литература

- [Тимченко, 2000] Тимченко А.А. Основы системного проектирования и системного анализа сложных объектов. – К.: Лыбидь, 2000. – 272 с
- [Тимченко, 1991] Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. – К.: Наук. думка, 1991. – 152 с.
- [Джулай, 2004] Джулай А.Н. Структуризация задач проектирования систем поддержки принятия решений противопожарными подразделениями // Материалы VII Межд. научн.-практ. конф. "Наука и образование '2004". – Днепропетровск: Наука и образование. – 2004. – Том 72. – С. 39-41.
- [Джулай, 2005] Джулай А.Н. Структурный анализ информационной технологии автоматизированной поддержки принятия решений при пожаротушении // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 392-398.
- [Снитюк, 2004] Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али. Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности // Черкаси: Вестник ЧДТУ. – 2000. – № 4. – С. 121-126.
- [Аверкин, 1986] Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. и др. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
- [Дюбуа, 1990] Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. – М.: Радио и связь, 1990. – 286 с.
- [Згуровский, 1990] Згуровский М.З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования. – К.: Выща школа, 1990. – 351 с.
- [Ротштейн, 1999] Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
- [Снитюк, 2006] Снитюк В.Е., Быченко А.А. Аспекты нечеткости при моделировании процессов распространения пожара на особо опасных объектах // АСУ и приборы автоматики. – 2006. – Вып. 134. – С.89-93.

Информация об авторах

Александр Джулай – Доцент, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, ул. Оноприенко, 8, Черкассy, Украина; e-mail: djulaj@ukr.net

Артем Быченко – Доцент, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля; ул. Оноприенко, 8, Черкассy, Украина; e-mail: bichenko@ukr.net

ОБ ОПЫТЕ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ МАКРОПАРАМЕТРАМИ

Алексей Волошин, Виктория Сатыр

Аннотация: Рассматриваются проблемы прогнозирования экономических макропараметров, в первую очередь, индекса инфляции. Предлагается концепция построения «синтетических» методов прогнозирования, использующих как непосредственно задаваемую экспертную информацию, так и результат расчетов на основе «объективных» экономико-математических моделей для прогнозирования отдельных «медленно изменяющихся» параметров. Обсуждаются проблемы управления макропараметрами на основе анализа полученного прогнозного значения.

Ключевые слова: Метод дерева решений, индекс инфляции, экспертная информация, управление.

ACM Classification Keywords: H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Известно изречение: "Если прогноз соответствует фактическому результату один раз, то это случайность, два раза – совпадение, три – закономерность".

В работах [Волошин, 2003, 2005, 2006, 2007], представленных на конференциях "Знание - Диалог-Решение" (KDS), развивается концепция "субъективного мультидетерминизма" [Волошин, 2006, 2007] для качественного прогнозирования экономических макропараметров, в первую очередь, индекса инфляции. В основе этой концепции следствие определяется множеством взаимозависимых причин (объективных и субъективных). Сами "причины" (факторы, параметры) и интенсивность их взаимовлияния определяются субъективно (экспертной оценкой) и представляются "нечетким" деревом решений (соответственно вершинами и дугами), "следствие" (результат прогнозирования) - листьями дерева. Разработан инструментарий, позволяющий осуществлять построение дерева (включать - исключать вершины, задавать оценки дуг), находить наиболее вероятное развитие сценария прогнозируемого процесса, "нечетко" определять значение прогнозируемого параметра.

На конференциях KDS в 2005-2007 г.г. были озвучены и опубликованы в [Волошин, 2007], прогнозные значения индекса инфляции в Украине, отклонение которых от фактических оказалось равным 3 - 5%. В частности, в июне 2007 г. на KDS-07, было приведено значение индекса инфляции на 01.01.2008, полученное в первом квартале 2007 г.: "Национальный Банк Украины прогнозирует инфляцию в Украине в 2007 г. на уровне 7%, правительство - 8%". Наш прогноз - 17.3%. Остается подождать начала конференции KDS-08 и сравнить прогнозы!". Как известно, фактический уровень инфляции составил 16.6%. Если учесть, что индекс инфляции рассматривался нами как нечеткий параметр и значение 17.3% - "наиболее вероятное" (максимизирующее функцию принадлежности), то полученный результат заслуживает на внимание. А с предыдущими "совпадениями", о которых говорилось выше, по мнению авторов, - на пристальное внимание.

В настоящее время (апрель 2008 г.) инфляция в Украине - тема "номер один". За первый квартал 2008 г. инфляция в Украине оказалась наибольшей среди всех государств бывшего Советского Союза (СНГ), заложенное в бюджет годовое значение в 9.6% уже превышено в первом квартале (9.7%). Из интервью президента Украины В. Ющенко: "Смешно объяснять инфляцию в Украине внешними причинами... Все просто - или денег много, или товара мало". Из интервью министра финансов Украины В. Пинзенька:

“Инфляция растет, хотя должна падать... Ничего не понимаю”. Экс-министр финансов Н. Азаров на вопрос: “Вы прогнозировали значение индекса инфляции на 2007 г. в 7% - 8%, он оказался на 10% (более, чем в 2 раза!) большим” ответил, что не было учтено “то-то и то-то”.

Наш комментарий на высказывание Н.Азарова - что это за прогноз, если что-то не учтено; В. Ющенко – смешно объяснять причину инфляции только внутренними причинами; В. Пинзенька - категории “спрос-предложение”, которые вы используете (“рыночная цена определяется балансом спроса и предложения”) корректно применять лишь для ситуации “совершенной конкуренции” (отметим, что Нобелевская премия за 2007 г. в области экономики была вручена за “Исследование проблем распределения ресурсов в условиях несовершенной конкуренции” - так называемая “регулируемая монополия”).

Наш ответ. К сожалению, невозможно выделить, как это пытаются делать экономисты, 2 - 3 (даже 5 - 10) основных (определяющих, главных и т.п.) причин, влияющих на индекс инфляции. Необходимо учитывать их десятки и сотни и, основное, не просто учитывать, а учитывать их взаимовлияние (что пытаемся делать мы).

Управление прогнозируемыми параметрами

Модели прогнозирования, которые рассматривались нами ранее в [Волошин, 2003, 2005, 2006, 2007], можно отнести к классу “позитивных” (Positive), которые отвечают на вопрос “что будет?”. Хотя эксперты, оценивая степень взаимовлияния параметров, в какой-то мере, учитывают изменение ее на интервале прогнозирования, эти модели можно считать “стационарными”. “Нормативные” модели (Normative), отвечая на вопрос “как должно быть? ”, должны рекомендовать внесение изменений в “стационарный” сценарий. В наших моделях это осуществляется следующими преобразованиями в “дереве принятия решений” - определением “узких мест” (дуг и вершин, которые в максимальной степени влияют на результат) с целью рекомендации “коррекции” степени взаимовлияния причин (в частности, введением и исключением вершин) для получения желаемых значений прогнозируемого параметра (например, “значение индекса инфляции не должно превышать 10%”). Кроме того, предлагаемые модели и, соответственно, программный инструментарий их реализации, отличаются от предлагаемых в предыдущих реализациях следующим моментом. Для “объективизации” [Волошин, 2006, 2007] процесса принятия решений в прогнозной модели некоторые оценки дуг определяются на основе соответствующих экономико-математических моделей (см. далее). С формально-математической точки зрения, “коррекция” дерева принятия решений - это его анализ на чувствительность [Волошин, 2006], но если коррекцию оценки дуг можно назвать традиционным анализом, то введение - исключение вершин требует разработки специальных алгоритмов.

Прогнозирование и управление инфляцией в “узких местах”

Исследованию проблем инфляции посвящены сотни монографий и тысячи статей. Коротко опишем и проанализируем влияющие на инфляцию основные факторы, которые использовались нами для прогнозирования уровня инфляции [Barro, 1998], [Greene, 2000], [Порошенко, 2008] .

Первое. Общемировой тенденцией последних лет является стремительное повышение цен на продовольствие и энергоносители. Индекс мировых цен на продовольствие, который рассчитывается инвестиционным банком Goldman Sachs, в 2006 году вырос на 26%, в 2007-ом - на 41%, в связи с чем эксперты банка внедрили термин «агфляция» (резкий рост цен на аграрную продукцию).

Второе. Рост мировых цен на горючее также является долгосрочной тенденцией. 16 апреля 2008 г. цена нефти побила очередной рекорд, достигнув отметки 115 дол. США за барель.

Третье. Еще более серьезной в Украине является проблема стремительного наращивания внешней задолженности банков. Только за 2007 год сумма привлеченных банками иностранных кредитов выросла более, чем вдвое - с 14 до 31 млрд. дол. США. Поскольку эти средства идут на потребительское кредитование, такая задолженность превращается в мощный инфляционный фактор.

Четвертое. Инфляция не приобрела бы настолько заметного ускорения, если бы экономика Украины отвечала ключевым критериям рыночной. В частности, не использованы возможности для прорывного наращивания производительности труда.

С целью повышения "объективности" в модифицированном варианте экспертной системы, как отмечалось выше, для прогнозирования параметров, изменения которых априори не носят «скачкообразного» характера (например, в демографии, см. рис.1), используются регрессионные модели.

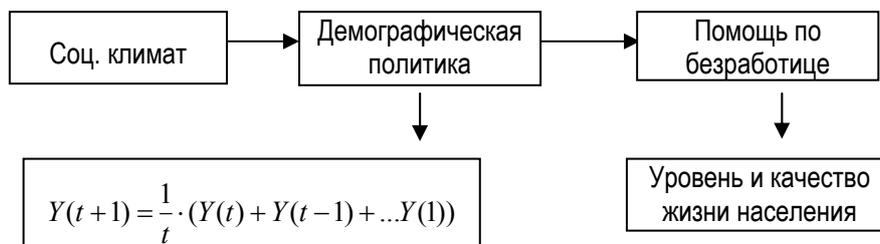


Рис. 1.

Предварительное испытание моделей показало, что прогнозирование по уравнениям трендов не дает достаточно точных прогнозов, т.к. динамика изменения темпов инфляции носит сложный характер. Поэтому были выбраны однофакторные регрессионные модели. При прогнозировании следует учитывать множество факторов, в т.ч. и политику правительства, банковских и других финансовых структур, реальные изменения в экономике, ситуацию на мировых рынках, позицию правительств развитых стран по отношению к Украине и многие другие факторы. Уравнение регрессии имеет вид $Y = a + bx$, где Y - сводный индекс потребительских цен в процентах к декабрю предшествующего года (прогнозируемый показатель); a - отрезок, соответствующий начальному значению зависимой переменной; b — наклон, который показывает, насколько изменится темп инфляции при изменении данного фактора x на единицу.

Используются следующие регрессионные модели. Самой простой моделью, основанной на простом усреднении является: $Y(t+1) = (1/t) * [Y(t) + Y(t-1) + \dots + Y(1)]$, и в отличие от самой простой "наивной" модели, которой соответствует принцип "завтра будет, как сегодня", этой модели отвечает принцип "завтра будет, как было в среднем за последнее время". Такая модель, конечно более устойчива к флуктуациям, поскольку в ней сглаживаются случайные выбросы относительно среднего. Несмотря на это, этот метод идеологически настолько же примитивен, как и "наивные" модели, и ему свойственны почти те же самые недостатки. В приведенной выше формуле предполагается, что ряд усредняется по достаточно длительному интервалу времени. Однако, как правило, значения временного ряда из недалекого прошлого лучше описывают прогноз, чем "более старые" значения этого же ряда. Тогда можно использовать для прогнозирования скользящее среднее: $Y(t+1) = (1/(T+1)) * [Y(t) + Y(t-1) + \dots + Y(t-T)]$. Смысл последнего заключается в том, что модель видит только ближайшее прошлое (на T отсчетов по времени в глубину) и, основываясь только на этих данных, строит прогноз. Для прогнозирования использовался также метод экспоненциальных средних. Формула, описывающая эту модель записывается, как $Y(t+1) = a * Y(t) + (1-a) * Y(t)$, где $Y(t+1)$ – прогноз на следующий период времени; $Y(t)$ – реальное значение в момент времени t ; $Y(t)$ – прошлый прогноз на момент времени t ; a – постоянная сглаживания ($0 \leq a \leq 1$).

Инфляция влияет не только на долговые отношения таких субъектов, как домохозяйства, банковский сектор, предпринимательский и финансовый сектор, но и на долговые отношения государства с домохозяйствами и предпринимательским сектором (государственный внутренний долг) и межгосударственные долговые отношения (внешний государственный долг). Следовательно, следующую связь, которую мы рассмотрим, инфляция и государственный долг. Причины ограниченных возможностей обесценения государственного долга в современных условиях:

- рост доли краткосрочных долговых обязательств государства;

- рост степени чувствительности (коэффициента эластичности) реагирования величины процентной ставки на уровень инфляции;
- предоставления долго - и среднесрочных кредитов не в полном объеме сразу, а траншами, что также дает возможности учитывать влияние инфляционных процессов на цену ссуды.

Рассмотрено влияние инфляции на долгосрочные ссуды. Перейдем к рассмотрению влияния инфляции на соглашения, которые определяют уровень заработной платы. Спрос и предложение на рынке труда имеют один общий определитель (по неоклассической теории) — уровень реальной заработной платы. Согласовывая ее размер, работодатели и наемные работники реагируют определенным образом на условия, которые сложились на рынке труда. Если, например, уровень валового внутреннего продукта (ВВП) и занятость высоки, заработная плата имеет тенденцию к росту. И наоборот, если объемы ВВП и уровень занятости уменьшаются, заработная плата растет медленно. Кривая заработной платы Филлипса отображает связь между инфляцией (обесценением) заработной платы и отставанием ВВП и может быть представлена формулой: $q = \lambda(Y - Y^*)$, где λ - коэффициент чувствительности (эластичности) реагирования заработной платы на изменения объема ВВП, Y – фактический объем ВВП, Y^* - потенциальный .

С учетом инфляционных ожиданий уравнения кривой Филлипса приобретает вид: $q = P^e + \lambda(Y - Y^*)$, где P^e — ожидаемый уровень инфляции. На рис. 2 представлен фрагмент «встроенной» математической модели в дерево решений.

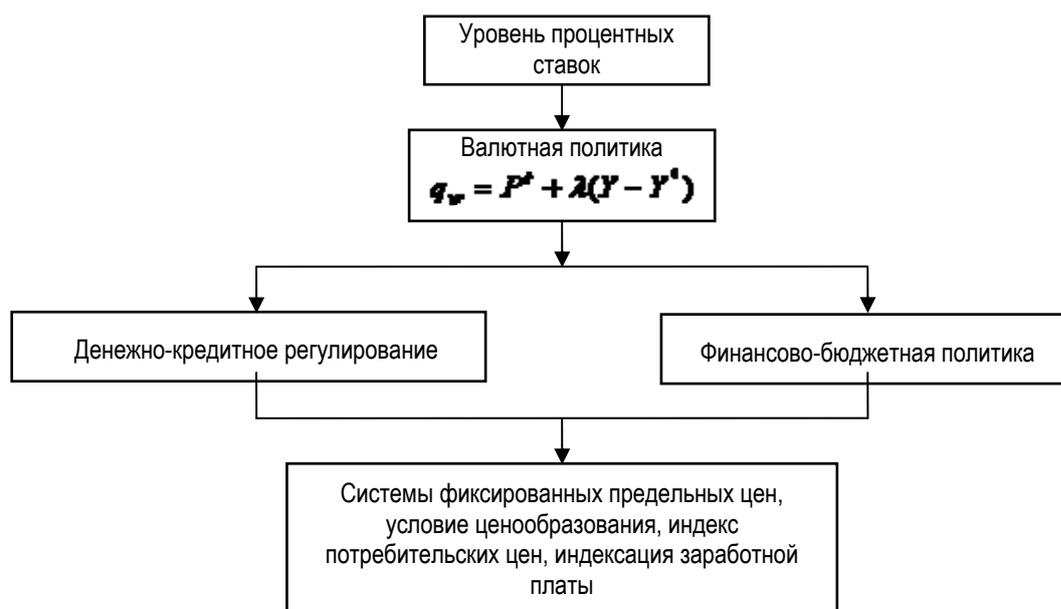


Рис. 2.

Приведенное выше уравнение Филлипса утверждает, что при любом заданном уровне ВВП заработная плата растет быстрее, чем уровень ожидаемой инфляции. Допускается, что номинальная заработная плата растет на 1 % быстрее на каждый дополнительный процент ожидаемой инфляции.

Сказанное требует ответа на вопрос: почему предприятия соглашаются на такое ускорение заработной платы? Такое поведение предпринимателей объясняется тем, что повышение номинальной заработной платы не будет уязвимым для них, если с одинаковыми темпами будут расти цены на их продукцию. При этих обстоятельствах и предприниматели, и наемные работники оказываются в таких условиях, в которых они бы находились при условии отсутствия инфляции. Следовательно, рост заработной платы учитывает ожидаемую инфляцию. Но, как мы уже знаем, инфляция может оказаться и неожиданной. При этих условиях рабочие осознают рост цен и инфляцию своей заработной платы только со временем и будут

требовать соответствующей компенсации. При такой ситуации компенсация приобретает форму возмещения потерь только за неожиданную инфляцию, не учтенную в предыдущем трудовом договоре. Коллективные соглашения, заключенные профсоюзами, которые содержат требования индексирования заработной платы с поправкой на инфляцию, тоже влекут определенную неразбериху по поводу того, это ли компенсация за прошлую инфляцию, или за ожидаемую. Это обстоятельство очень важно для последующего прогнозирования темпов инфляции. Если ставки заработной платы на следующий год отображают темп инфляции за предыдущий год, а цены базируются на имеющейся заработной плате, то сегодняшняя инфляция будет отображать вчерашнюю, и темпы инфляции будут изменяться медленно.

Если же для установления ставок заработной платы принимают во внимание только ожидаемую инфляцию, то возможно радикальное изменение политики, которая изменяет надежду относительно быстрого изменения темпа инфляции. Кроме указанного аспекта, важно вспомнить еще один аспект этой проблемы. Заработная плата может индексироваться на 100 % или только частично, например, на 50—60 %.

Есть два способа частичной индексации заработной платы:

- установление верхней границы роста цен, превышение которой предусматривает компенсацию. Например, если темп инфляции превышает 5 %, то начиная с 5,1 % доходы начинают индексироваться;
- установление верхней границы компенсации. Этот способ ограничивает величины, в которых компенсируется рост цен заблаговременно фиксированным процентом. Заключения трудовых соглашений на 2—5 лет не могут предусмотреть с полной достоверностью изменение уровня инфляции, особенно в нестабильной экономике. Потому для учета инфляции используют самых распространенных два метода:
- индексация заработной платы за индексом потребительских цен и периодического (ежеквартального или раз в полгода) пересмотра заработной платы относительно ее роста в соответствии с ростом цен за этот период;
- предвидение периодического, заранее объявленного повышения заработной платы, выходя из ожидаемых темпов роста цен.

Если инфляцию можно было бы предусмотреть с полной достоверностью, то оба метода имели бы приблизительно одинаковые последствия. Но поскольку ожидания часто являются ошибочными, то считается, что индексация, которая основывается на фактических темпах инфляции, надежнее гарантирует стабильность реальной заработной платы, чем когда выплаты заранее предусмотрены.

Инфляция влияет не только на долю дебиторов и кредиторов, наемных работников и предпринимателей. Она затрагивает и интересы государства. Да, в условиях инфляции происходит сознательная отсрочка налогоплательщиками уплаты в государственный бюджет, который дает возможность последнему рассчитаться с государством обесцененными деньгами. Это явление инфляционного налогообложения в научной литературе получило название "эффекта Оливера — Танзи".

Этот эффект коротко можно сформулировать следующим образом: любая инфляция уменьшает налоговый груз. Он проявляется с большей силой в меру роста темпа инфляции и отсрочки времени уплаты налогов.

В то же время необходимо отметить, что инфляция, ослабляя налоговый груз, предопределенный освещенными выше причинами, порождает и другую, обратную тенденцию.

Выводы

В развитие концепции качественного прогнозирования на основе нечеткого дерева решений предлагается использовать «встроенные» экономико-математические модели прогнозирования отдельных параметров, в первую очередь, определяющих «узкие места» в дереве. На основе предварительного анализа полученных прогнозных значений индекса инфляции в Украине за 2008 г. предлагаются следующие (в порядке убывания первоочередности) управляющие воздействия с целью коррекции неблагоприятного

прогноза значений индекса инфляции (наш предварительный прогноз оценивается уровнем 30%): индексация заработной платы бюджетной сферы; введение прогрессивного подоходного налога; субсидирование аграрного сектора; контроль со стороны государства монополий (“естественных” и “искусственных”); введение минимальной почасовой оплаты; снижение процентной ставки кредитования; отказ от привязки национальной валюты к доллару США.

Заключение

“Чтобы постичь окружающий нас мир, нужно знать его во всех подробностях, а так как этих подробностей бесчисленное множество, то и знания наши всегда поверхностны и несовершенны” (Ларошфуко).

Библиография

- [Voloshin, 2003] Voloshin O.F., Panchenko M.V. The System of Quality Prediction on the Basis of a Fuzzy Data and Psychography of the Experts. International Journal “Information Theories & Applications”, 2003, Vol.10, №3. -P.261-265.
- [Волошин, 2005] Волошин А.Ф. О проблемах принятия решений в социально-экономических системах//Труды конференции «KDS-2005», Том 1, София, 2005. -С.205-212.
- [Волошин, 2006] Волошин А.Ф. Системы поддержки принятия решений как персональный интеллектуальный инструментариум лица, принимающего решение //Труды конференции «KDS-2006», София, 2006. -С.149-153.
- [Волошин, 2007] Волошин А., Сатыр В. Проблемы прогнозирования экономических макропараметров// Труды конференции «KDS-2007», София, 2007, том 1.-С.264-269.
- [Voloshyn, 2007] Voloshyn A, Satyr V.The inflation index prognosis based on the method of decision-making “tree”// “Informations technologies & application”, 2007, vol.14, N1.-P.63-67.
- [Barro, 1998] Barro R. Macroeconomics. – London: The MIT Press Cambridge, 1998. -867 p.
- [Greene, 2000] Greene W. Econometric Analysis. – New York: Prentice Hall, 2000.- 1004 p.
- [Порошенко, 2008] Порошенко П. Антиинфляционная политика: шок или терапия? // «Зеркало недели», 2008, №15.
-

Сведения об авторах

Волошин Алексей Федорович – Профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, факультет кибернетики. Киев, Украина. E-mail: ovoloshin@unicyb.kiev.ua

Сатыр Виктория Валериевна – Аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, факультет кибернетики. Киев, Украина. E-mail: vicsatr@hotmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Юрий Зайченко, Малихех Есфандиярфард

Аннотация: Рассмотрена проблема оптимизации инвестиционного портфеля в условиях неопределенности с использованием прогнозирования доходностей курсов акций. Для прогнозирования курсов акций предложен нечеткий метод индуктивного моделирования- НМГУА с нечеткими входами. Приводятся результаты экспериментальных исследований- прогнозные оценки курсов акций ведущих российских компаний и полученный оптимальный портфель на основе прогнозирования и оценивается его фактическая эффективность.

Keywords: fuzzy port folio optimization, stock prices forecasting, fuzzy GMDH, fuzzy inputs

ACM Classification Keywords: H.4.2 Information Systems Applications: Types of Systems: Decision Support.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

В последние годы задачи оптимизации инвестиционного портфеля представляют значительный интерес в связи с развитием финансовых рынков на Украине. Решение задачи портфельной оптимизации позволяет финансовым институтам наилучшим образом распределить имеющиеся финансовые средства в ценные бумаги (ЦБ) и уменьшить риск от ошибочных решений. Классическая задача портфельной оптимизации, впервые рассмотренная Г.Марковитцем, базируется на допущениях о нормальности распределения доходностей акций и стационарности финансовых процессов, которые на практике не выполняются.

Альтернативой классической модели Марковитца стал нечетко-множественный подход в задачах анализа и оптимизации инвестиционного портфеля, предложенный в работах [1,2] и развитый в [3]. При таком подходе доход рассматривается, как нечеткое число с функцией принадлежности треугольного и гауссовского типа, описываемое интервалами $[\gamma_{\min}, \gamma_{\text{cp}}, \gamma_{\max}]$, где γ_{\min} - левый конец интервала, γ_{\max} - правый конец интервала, γ_{cp} - наиболее вероятное значение доходности.

При этом риск портфеля трактуется как вероятность того, что реальная доходность окажется ниже некоторого критериального значения γ^* (четкого ли нечеткого), задаваемого ЛПП.

Этот риск вызывается тем, что доходности акций определяются по имеющейся предыстории, т.е. основаны на прошлых данных, а реальная доходность портфеля определяется в будущий момент времени и может существенно отличаться от исходных данных. С целью снижения ожидаемого риска при построении инвестиционного портфеля целесообразно использовать не текущие, а прогнозные значения акций.

При выборе соответствующего метода прогнозирования нужно учесть специфические особенности финансовых процессов:

- 1) существенную нестационарность;
- 2) сложную неизвестную зависимость между входными и выходными переменными;
- 3) наличие неполной или недостоверной информации.

Одним из эффективных методов прогнозирования макроэкономики является нечеткий метод индуктивного моделирования, известный под название нечеткого МГУА, разработанный в работе [4].

В работе [5] предложен новый алгоритм нечеткого МГУА, который работает в условиях нечетких входных данных, заданных в виде интервалов неопределенности. Такая ситуация характерна для финансовых рынков, где в течении дня акции колеблются в некотором интервале.

Целью настоящей работы является исследование эффективности нечеткого МГУА с нечеткими входами для прогнозирования курсов акций с последующим использованием результатов прогнозов в задаче оптимизации инвестиционного портфеля и оценка его эффективности на реальных данных..

Вид нечеткой математической модели для треугольных ФП с нечеткими входами

Пусть имеется линейная интервальная модель регрессии:

$$Y = A_0 Z_0 + A_1 Z_1 + \dots + A_n Z_n, \quad (1)$$

где A_i – нечеткие числа треугольной формы, которые описываются тройкой параметров $A_i = (\underline{A}_i, a_i, \overline{A}_i)$, где a_i – центр интервала, \overline{A}_i – его верхняя граница, \underline{A}_i – нижняя граница.

В данной модели рассматривается случай симметричных функций принадлежности для параметров A_i , поэтому их можно описать парой параметров (a_i, c_i) .

$$\underline{A}_i = a_i - c_i, \quad \overline{A}_i = a_i + c_i, \quad c_i - \text{ширина интервала, } c_i \geq 0,$$

Z_i – также нечеткие числа треугольной формы, которые задаются параметрами $(\underline{Z}_i, \check{Z}_i, \overline{Z}_i)$, \underline{Z}_i – нижняя граница, \check{Z}_i – центр, \overline{Z}_i – верхняя граница нечеткого числа.

Тогда Y – нечеткое число, параметры которого определяются следующим образом [29]:

$$\text{Центр интервала: } \check{y} = \sum a_i * \check{Z}_i.$$

Отклонение в левой части функции принадлежности:

$$\check{y} - \underline{y} = \sum (a_i * (\check{Z}_i - \underline{Z}_i) + c_i |\check{Z}_i|). \quad (2)$$

$$\text{Откуда нижняя граница интервала: } \underline{y} = \sum (a_i * \underline{Z}_i - c_i |\check{Z}_i|).$$

Отклонение в правой части функции принадлежности:

$$\overline{y} - \check{y} = \sum (a_i * (\overline{Z}_i - \check{Z}_i) + c_i |\check{Z}_i|) = \sum a_i \overline{Z}_i - a_i \check{Z}_i + c_i |\check{Z}_i|.$$

$$\text{Откуда верхняя граница интервала: } \overline{y} = \sum (a_i * \overline{Z}_i + c_i |\check{Z}_i|).$$

Для того, чтобы интервальная модель была корректной, необходимо, чтобы действительное значение исходной величины Y принадлежало полученному в результате работы метода интервалу. Это можно описать таким образом:

$$\begin{cases} \sum (a_i * \underline{Z}_{ik} - c_i |\check{Z}_{ik}|) \leq y_k \\ \sum (a_i * \overline{Z}_{ki} + c_i |\check{Z}_{ik}|) \geq y_k, k = \overline{1, M} \end{cases}, \quad (3)$$

где $Z_k = [Z_k]_i$ – входная обучающая выборка, y_k – известные нам исходные значения; $k = \overline{1, M}$, M – количество точек наблюдения.

Следовательно, основные требования к оценочной линейной интервальной модели для треугольного частичного описания заключаются в том, чтобы найти такие значения параметров (a_i, c_i) нечетких коэффициентов, при которых:

а) наблюдаемые значения y_k попадали бы в оценочный интервал для Y_k ;

б) суммарная ширина оценочного интервала была бы минимальной.

Эти требования можно свести к задаче линейного программирования [29]:

$$\min_{a_i, c_i} \sum_{k=1}^M (\sum (a_i * \bar{Z}_i + c_i |\bar{Z}_i|) - \sum (a_i * \underline{Z}_i - c_i |\bar{Z}_i|)), \quad (4)$$

при условиях

$$\begin{cases} \sum (a_i * \underline{Z}_{ik} - c_i |\bar{Z}_{ik}|) \leq y_k \\ \sum (a_i * \bar{Z}_{ki} + c_i |\bar{Z}_{ik}|) \geq y_k, k = \overline{1, M} \end{cases} \quad (5)$$

Формализованная постановка задачи для треугольных ФП

Рассмотрим частичное описание вида:

$$f(x_i, x_j) = A_0 + A_1 x_i + A_2 x_j + A_3 x_i x_j + A_4 x_i^2 + A_5 x_j^2. \quad (6)$$

Запишем его в соответствии с моделью (1). Для этого в ней нужно предположить, что $z_0 = 1$, $z_1 = x_i$, $z_2 = x_j$, $z_3 = x_i x_j$, $z_4 = x_i^2$, $z_5 = x_j^2$.

Тогда математическая модель (4) -(5) запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \min_{a_i, c_i} & (2Mc_0 + a_1 \sum_{k=1}^M (\bar{x}_{ik} - \underline{x}_{ik}) + 2c_1 \sum_{k=1}^M |\bar{x}_{ik}| + a_2 \sum_{k=1}^M (\bar{x}_{jk} - \underline{x}_{jk}) + 2c_2 \sum_{k=1}^M |\bar{x}_{jk}| + \\ & + a_3 \sum_{k=1}^M (|\bar{x}_{ik}| (\bar{x}_{jk} - \underline{x}_{jk}) + |\bar{x}_{jk}| (\bar{x}_{ik} - \underline{x}_{ik})) + 2c_3 \sum_{k=1}^M |\bar{x}_{ik} \bar{x}_{jk}| + 2a_4 \sum_{k=1}^M |\bar{x}_{ik}| (\bar{x}_{ik} - \underline{x}_{ik}) + \\ & + 2c_4 \sum_{k=1}^M \bar{x}_{ik}^2 + 2a_5 \sum_{k=1}^M |\bar{x}_{jk}| (\bar{x}_{jk} - \underline{x}_{jk}) + 2c_5 \sum_{k=1}^M \bar{x}_{jk}^2) \end{aligned} \quad (7)$$

при условиях

$$\begin{aligned} & a_0 + a_1 \underline{x}_{ik} + a_2 \underline{x}_{jk} + a_3 (-|\bar{x}_{ik}| (\bar{x}_{jk} - \underline{x}_{jk}) - |\bar{x}_{jk}| (\bar{x}_{ik} - \underline{x}_{ik}) + \bar{x}_{ik} \bar{x}_{jk}) + \\ & + a_4 (-2|\bar{x}_{ik}| (\bar{x}_{ik} - \underline{x}_{ik}) + \bar{x}_{ik}^2) + a_5 (2|\bar{x}_{jk}| (\bar{x}_{jk} - \underline{x}_{jk}) + \bar{x}_{jk}^2) - c_0 - c_1 |\bar{x}_{ik}| - \\ & - c_2 |\bar{x}_{jk}| - c_3 |\bar{x}_{ik} \bar{x}_{jk}| - c_4 \bar{x}_{ik}^2 - c_5 \bar{x}_{jk}^2 \leq y_k \\ & a_0 + a_1 \bar{x}_{ik} + a_2 \bar{x}_{jk} + a_3 (|\bar{x}_{ik}| (\bar{x}_{jk} - \bar{x}_{jk}) + |\bar{x}_{jk}| (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_{ik}) - \bar{x}_{ik} \bar{x}_{jk}) + a_4 (2|\bar{x}_{ik}| (\bar{x}_{ik} - \\ & - \bar{x}_{ik}) - \bar{x}_{ik}^2) + a_5 (2|\bar{x}_{jk}| (\bar{x}_{jk} - \bar{x}_{jk}) - \bar{x}_{jk}^2) + c_0 + c_1 |\bar{x}_{ik}| + c_2 |\bar{x}_{jk}| + c_3 |\bar{x}_{ik} \bar{x}_{jk}| + \\ & c_4 \bar{x}_{ik}^2 + c_5 \bar{x}_{jk}^2 \geq y_k \\ & c_l \geq 0, l = \overline{0, 5}. \end{aligned} \quad (8)$$

Как видно, эта задача является задачей линейного программирования, но поскольку нет ограничений неотрицательности для переменных a_i , для ее решения переходим к двойственной задаче, вводя двойственные переменные $\{\delta_k\}$ и $\{\delta_{k+M}\}$.

Решив двойственную задачу симплекс-методом и найдя оптимальные значения двойственных переменных $\{\delta_k\}, \{\delta_{k+M}\}$, найдем оптимальные значения искомым переменных $c_i, a_i, i = \overline{0, 5}$, а также искомую нечеткую модель для заданного частичного описания

Описание алгоритма НМГУА

Дадим краткое описание алгоритма [1].

1. Выбор общего вида модели, которым будет описываться искомая зависимость.
2. Выбор внешних критериев оптимальности (критерия регулярности $\bar{\delta}^{-2}$ или несмещенности $N_{см}$).
3. Выбор общего вида опорной функции (вида частичных описаний), например, линейного или квадратичного.
4. Разбиение выборки на обучающую $N_{об}$ и проверочную $N_{пров}$.
5. Присваиваем нулевые значения счетчику числа моделей k и счетчику числа рядов r .
6. Генерируем новую частичную модель f_r вида (6) на обучающей выборке. Решаем задачу ЛП (7)–(8) и находим искомые значения α_i, c_i .
7. Определяем по проверочной выборке $N_{пров}$ значение внешнего критерия ($N_{см}^{(r)}$) или $(\delta_k^{(2)}(r))$.
8. $k = k + 1$. Если $k \geq C_F^2$, то $k = 0, r = r + 1$.
9. Вычисляем наилучшее значение критерия для моделей r -й итерации ($N_{см}^{(r)}$ или $\delta^{(2)}(r)$).
Если $r = 1$, то переходим на шаг 6, иначе – на шаг 10.
10. Если $|N_{см}^{(r)} - N_{см}^{(r-1)}| \leq \varepsilon$, то переходим на шаг 11, иначе – отбираем F лучших моделей и положив $r = r + 1, k = 1$, переходим на шаг 6 и выполняем следующую $(r+1)$ -ю итерацию.
11. Из F моделей предыдущего ряда находим по критерию регуляризации наилучшую модель.

Экспериментальные исследования НМГУА в задачах прогнозирования курсов акций

В данном эксперименте входными данными являлись цены акций 4 ведущих энергетических фирм России (03.04.2006 – 18.05.2006):

- EESR – акции ОАО РАО ЕЭС России,
- YUKO - акции ОАО ЮКОС,
- SNGSP – привилегированные акции ОАО Сургутнефтегаз,
- SNGS – обычные акции ОАО Сургутнефтегаз.

Прогнозировалась цена акций иной компании: ОАО ЛУКОЙЛ за тот же самый период

Размер выборки – 32 значения.

Размер обучающей выборки – 17 значений (оптимальный размер обучающей выборки для данного эксперимента).

Были получены следующие результаты:

1. Для треугольных функций принадлежности
 - а) Для нормированных входных данных:
Значения критериев для данного эксперимента составили:

$$СКО = 0,056481$$

б) Для ненормированных входных данных:

$$\text{СКО} = 0,914998 \quad \text{МАРЕ} = 0,73\%$$

2. Для функции принадлежности Гауса (оптимальный уровень $\alpha=0,9$)

а) Для нормированных входных данных:

Значение критерия для данного эксперимента составили:

$$\text{СКО} = 0,030464$$

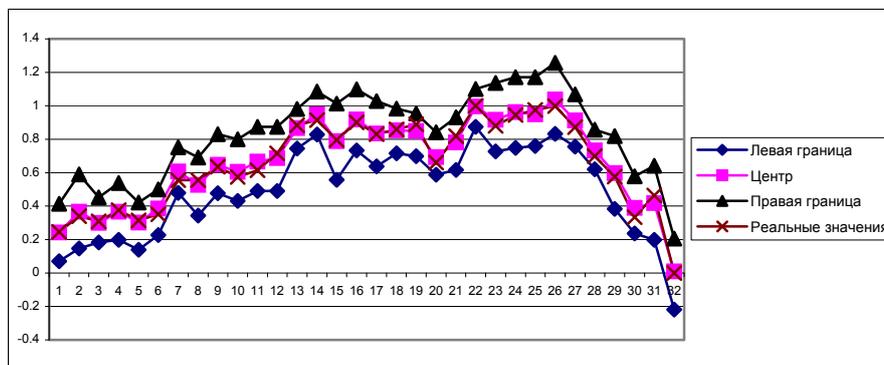


Рис. 1. Результаты эксперимента для ФП Гаусса и нормированных значений входных переменных

б) Для ненормированных входных данных:

Значения критериев для данного эксперимента составили:

$$\text{СКО} = 0,493511 \quad \text{МАРЕ} = 0,33\%$$

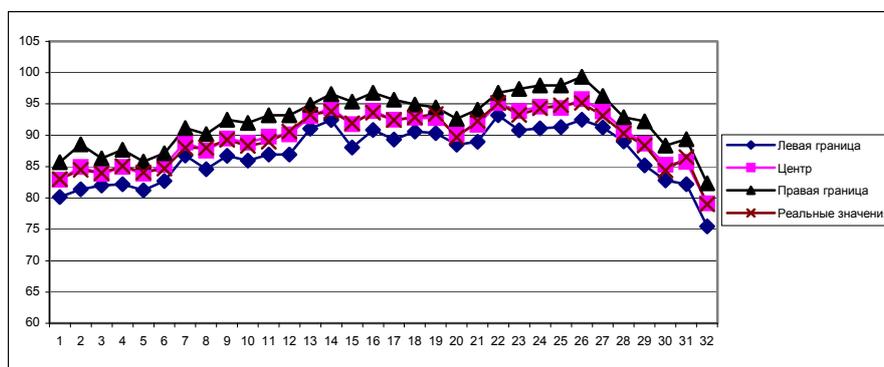


Рис. 2. Результаты эксперимента для ФП Гаусса и ненормированных значений входных переменных

Как видно из результатов экспериментов, прогнозирование с использованием треугольных и Гауссовских ФП дает хорошие результаты. При этом результаты прогнозирования с ФП Гаусса оказываются лучшими в сравнении с треугольными примерно вдвое (см. таблицу 1).

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили целесообразность использования НМГУА с нечеткими входными переменными для прогнозирования курсов акций.

Таблица 1. Сравнительный анализ точности прогнозирования с использованием различных видов ФП

Для нормированных данных:			Для ненормированных данных:		
	Треугольные ФП	ФП Гаусса		Треугольные ФП	ФП Гаусса
СКО	0,056481	0,030464	СКО	0,914998	0,493511
			МАРЕ	0,73%	0,33%

Построение и анализ оптимального портфеля.

Была решена задача определения оптимального портфеля из курсов акций ведущих российских компаний: ОАО «Лукойл»-LKOH, «Татнефть»-TATN, «Мосэнерго»-MSNG, PAO «ЕЭС»-EESR, «Газпром»-GAZP. На основе изложенного выше метода были спрогнозированы курсы акций указанных компаний и построен оптимальный портфель с таким распределением долей акций:

LKOH- 0.101, TATN -0., MSNG-0.135, EESR- 0.122, GAZP-0.642.

Для такого портфеля оценочный интервал доходности составил

$r_{\min}=0.000678$, $r_{\text{cp}}=0.0167$, $r_{\max}=0.03228$.

Далее были определены реальные доходности акций в следующий момент времени и для найденного оптимального портфеля подсчитана его реальная доходность. Она составила 0.014795.

Как видим, реальные данные хорошо согласуются с прогнозной доходностью и фактическая доходность попадает в оценочный интервал близко к его центру.

Выводы

1. В докладе описан метод прогнозирования курсов акций для задачи портфельной оптимизации в нечетких условиях. Для этих целей предложен нечеткий МГУА с нечеткими входами.
2. Проведены экспериментальные исследования НМГУА с нечеткими входами в задаче прогнозирования курсов акций. Результаты экспериментов подтверждают целесообразность применения нечеткого МГУА для прогнозирования курсов акций в задачах портфельной оптимизации в условиях неопределенности.

Литература

1. Недосекин А.О. Система оптимизации фондового портфеля от Сименс Бизнес Сервисез // Банковские технологии. – 2003. – № 5 – Также на сайте: <http://www.finansy.ru/publ/fin/004.htm>
2. Недосекин А.О. Монотонные портфели и их оптимизация // Аудит и финансовый анализ. – 2002. – №2. - Также на сайте: http://sedok.narod.ru/s_files/PF_Article_4.zip
3. Зайченко Ю.П., Малихех Есфандиярфард. Анализ и сравнение результатов оптимизации инвестиционного портфеля при применении модели Марковица и нечетко-множественного метода // XIII-th International Conference KDS-2007. SOFIA, 2007.-Vol.1, pp.278-286.
4. Зайченко Ю. П. Нечеткий метод индуктивного моделирования в задачах прогнозирования макроэкономических показателей. // Системні дослідження та інформаційні технології.-2003.-№3.-с.-25-45.
5. Зайченко Ю.П. Нечеткий метод группового учета аргументов при неопределенных входных данных //Системні дослідження та інформаційні технології.- 2007.-№ 4.-с. 58-71.

Информация об авторах

Зайченко Юрий Петрович, профессор, д.т.н., кафедра «Институт прикладного системного анализа». Киев, НТУУ «КПИ», ул. Политехническая 14, тел: +8(044)241-86-93, e-mail: zaych@i.com.ua

Малихех Есфандиярфард (Иран), аспирантка кафедры «Прикладная математика» НТУУ «КПИ», проспект Победы 37, тел: +38(096)6915857, e-mail: fard_sem@yahoo.com

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ЗАДАЧ

Елена Серова

Аннотация: Работа посвящена оценке роли и перспективам использования моделирования при решении бизнес-задач. Выделены современные подходы моделирования, используемые при описании архитектуры, разработке модели деятельности организации и проведении реинжиниринга.. Приведено краткое изложение существующих методологий и инструментальных средств, применяемых в современном бизнес-моделировании.

Ключевые слова: бизнес-процесс, бизнес-моделирование, методологии моделирования бизнес-процессов, имитационное моделирование, структурно-функциональный подход, дискретно-событийный подход, агентное моделирование, инструменты моделирования.

ACM Classification Keywords: I.6.5 Model development – Modeling methodology

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

Введение

Сегодня можно с уверенностью говорить о целесообразности применения методик и инструментов бизнес-моделирования. Проекты по разработке и внедрению корпоративных информационных систем, систем документооборота, создание комплексов поддержки принятия решений, консалтинговые проекты, связанные с описанием архитектуры организации, с изменением ее бизнес-процессов, аудитом и сертификацией деятельности – вот далеко не полный список областей применения этих инструментов. Невозможно представить успешное завершение перечисленных проектов без использования современных подходов и средств бизнес-моделирования.

Основное назначение использования средств моделирования при решении бизнес-задач – обеспечение взаимопонимания на всех уровнях организации, преодоление разрыва между стратегическим видением бизнеса и его реализацией на практике. С этой целью в современных средствах моделирования, применяемых в бизнесе, используются специальное программное обеспечение, языки и системы, с помощью которых разрабатываются модели и диаграммы, демонстрирующие как построены в компании бизнес-процессы, как организовано взаимодействие между людьми и что необходимо изменить для оптимизации архитектуры организации в целом.

Особое внимание следует обратить на то, что моделирование рассматривается сегодня как один из этапов принятия ответственных управленческих решений в компаниях, активно использующих в своей деятельности современные информационные технологии [Лычкина, 2007]. Эти компании привлекают в помощь менеджерам системы, способствующие принятию стратегических управленческих решений, и инструменты на основе компьютерного моделирования, которые широко используют методы и преимущества объектно-ориентированного программирования, видео, мультимедийные средства, поддерживающие анимацию в реальном режиме времени.

Компьютерное моделирование позволяет описать сложные нелинейные взаимодействия в бизнесе, например, смоделировать поведение экономических субъектов в кризисной ситуации, оценить последствия реализации различных сценариев или спрогнозировать дальнейшее течение событий. Суть применения компьютерного моделирования в бизнесе заключается в получении количественных и

качественных результатов по имеющейся модели. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа бизнес-процессов (структурно-функциональное моделирование), позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства исследуемой сложной системы (например, системы управления): ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и другие. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснение прошлых значений переменных, характеризующих исследуемую реальную систему, и могут быть получены с использованием современных методик имитационного моделирования, описанных в данной работе. Разумеется, все подходы моделирования, используемые при решении задач современного бизнеса, не являются взаимоисключающими и могут применяться либо одновременно, либо в некоторой комбинации.

Структурно-функциональный подход в бизнес-моделировании

Наиболее наглядным и достаточно широко используемым на практике примером структурно-функционального моделирования в современном менеджменте является направление, связанное с моделированием бизнес-процессов (business-process modeling).

Рыночная ситуация, в которой находятся современные компании, довольно нестабильна и требует быстрой и точной реакции на происходящие изменения. Рано или поздно реорганизация бизнеса становится неизбежной и менеджерам приходится задумываться о том, как изменить текущие бизнес-процессы, чтобы улучшить деятельность предприятия. Например, производитель может захотеть пересмотреть то, как происходит закупка исходных материалов, порядок оформления заказов или изменить перечень работ по доставке готовой продукции заказчиком. Очевидно, что реинжиниринг бизнес-процессов (business process reengineering) тесно связан с изменениями архитектуры информационных систем. Ключевым моментом успеха проекта по реорганизации является тесное взаимодействие между всеми группами лиц, заинтересованными в выполнении задачи, прежде всего, между специалистами в сфере информационных технологий и экспертами в предметной области бизнеса. Это возможно с помощью составления структурно-функциональных моделей, отражающих бизнес-процессы и понятных всем участникам проекта. Одновременно модель должна служить для формализации и документирования существующего состояния дел и изучения возможностей улучшения работы. На современном рынке программного обеспечения представлено несколько компьютерных технологий, которые предназначены для автоматизации структурных моделей – CASE-средства (Computer Aided Software Engineering). Стоит отметить, что определение CASE-средства охватывает самые различные инструменты, служащие для компьютерного анализа и моделирования, и инструменты моделирования бизнес-процессов представляют лишь небольшую часть всего класса.

Организационно-структурные изменения в компании, особенно если они связаны с внедрением корпоративных информационных систем, приводят к серьезным рискам. Последствия изменений в деятельности организации должны быть тщательно изучены и проанализированы, прежде чем они станут реальностью. Такие корпоративные информационные системы зарубежных производителей, как SAP R/3, BAAN, ROSS iRenaissance и др. содержат опробованные в течение многих лет методики и инструментальные средства, позволяющие минимизировать риски и решать проблемы, возникающие при реорганизации бизнес-процессов предприятия, в том числе при внедрении современных информационных систем.

Современный подход к описанию бизнес-процессов подразумевает идею постоянного совершенствования и модификации, анализа и прогнозирования, а также своевременного внесения изменений в бизнес-модели. Описание должно адекватно отражать состояние дел в компании и быть основой для получения целостного представления о стратегии развития бизнеса и его автоматизации. Наиболее предпочтительна следующая последовательность шагов развития или модификации бизнеса [Прошин, 2006]:

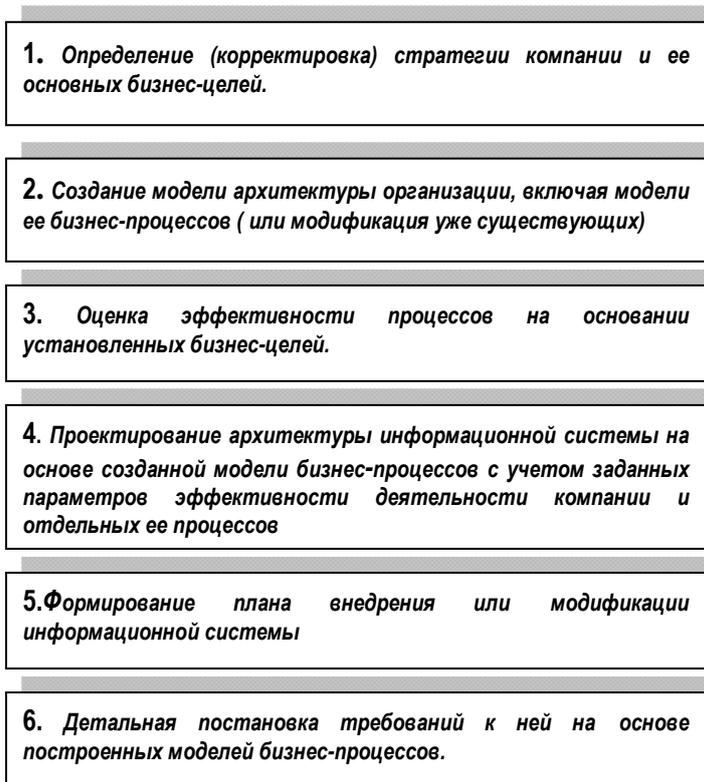


Рис.1. Последовательность шагов развития (модификации) бизнеса

В настоящее время для описания и моделирования бизнес-процессов используется несколько методологий. К числу наиболее распространенных относятся методологии моделирования бизнес-процессов (Business Process Modeling), описания потоков работ (Work Flow Modeling) и описания потоков данных (Data Flow Modeling) [Репин, Елиферов, 2008].

Предложенная в 70-х годах прошлого века Дугласом Россом (Douglas Ross) методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique) послужила основой для стандарта моделирования бизнес-процессов IDEF0. Примером инструмента для создания моделей, полностью поддерживающим стандарт IDEF0 и позволяющим анализировать, документировать и планировать изменения сложных бизнес-процессов, является CASE-средство AllFusion Process Modeler 4.1 (другое название – BPwin 4.1) – продукт компании Computer Associates (CA) [Маклаков, 2003].

Второй методологией описания процессов, активно используемой на практике, является методология Work Flow Modeling – стандарт IDEF3, служащая для построения моделей процессов по принципу последовательно выполняемых во времени работ (функций, операций). IDEF3 лежит в основе инструментальной среды IRIS (разработка немецкой компании IDS Scheer AG), в которой методологические и рабочие инструкции создаются на базе событийно-ориентированных eEPS-моделей (extend Event-driven Process Chain) [Ильин, 2006].

Еще одной важнейшей методологией, используемой в бизнес-моделировании, являются нотации DFD (Data Flow Diagramming), позволяющие отразить последовательность работ, выполняемых по ходу процесса, и потоки информации, циркулирующие между этими работами. Методология DFD позволяет максимально снизить субъективность описания бизнес-процессов и может эффективно использоваться при внедрении процессного подхода к управлению организацией.

Следует также упомянуть о достаточно широко применяемой и развивающейся методологии UML (Unified Modeling Language). В рамках этой методологии рассматривается ряд диаграмм (например, Activity

Diagram), которые можно использовать для описания бизнес-процессов организации [Вендров, 2000], хотя в целом методология UML не предназначена для бизнес-моделирования.

Помимо указанных выше методологий, существуют и другие, предлагаемые различными компаниями – производителями программных продуктов. Даже такие корпорации, как IBM и Oracle, предлагают собственные инструментариумы для описания и моделирования бизнес-процессов. Например, технология Oracle Workflow, используемая для автоматизации выполнения потоков работ организации, содержит средства описания и формализации процессов. Необходимо отметить, что сейчас одновременно одним из самых современных и общепринятых стандартов управления бизнес-процессами является BPEL (Business-Process Execution Language). На базе этого продукта можно создать единую интеграционную платформу для всех используемых приложений. Переход на BPEL – общемировая тенденция: государственные и коммерческие учреждения и организации во многих странах мира уже используют эту технологию. В России также осуществлены первые подобные проекты, в результате которых удалось успешно решить проблемы оптимизации ИТ-инфраструктуры предприятия [Прошин, 2006].

Имитационное моделирование при решении бизнес-задач

Метод структурно-функционального моделирования позволяет описать существующие бизнес-процессы, выявить их недостатки и построить модель деятельности предприятия. Однако часто возникает задача оптимизации тех или иных конкретных процессов, исследования влияния различных параметров на тот или иной бизнес-процесс. В этом случае структурно-функциональной модели может быть недостаточно и целесообразным оказывается использовать другие методики и инструменты моделирования. Одним из подходов, позволяющих решить подобного рода бизнес-задачи и получить количественные характеристики процессов, является имитационное моделирование. С помощью имитационной модели можно получить статистику происходящих процессов так, как если бы это было в реальности. Обычно такие модели строятся для поиска оптимального решения в условиях ограничения по ресурсам, когда другие математические модели оказываются слишком сложными. Идея имитационного моделирования одинаково привлекательна и для руководителей и для исследователей систем благодаря своей простоте. Поскольку имитационный подход при решении бизнес-задач связан с применением специализированного программного обеспечения необходимо упомянуть о еще одном широко используемом в компьютерном моделировании термине — «имитационная система» или «система имитационного моделирования». Этим термином обозначают совокупность имитационной модели сложного процесса, набора более простых моделей того же процесса, алгоритмов и соответствующего программного обеспечения, ассоциированных с этими моделями. Примерами таких систем, используемых в бизнес-моделировании, могут служить: система имитационного моделирования Arena (компания Rockwell Automation; <http://www.arenasimulation.com>), AnyLogic (компания XJ Technologies; <http://www.xjtek.com>) или GPSS — General Purpose Simulation System - общецелевая система имитационного моделирования (компания Minuteman Software; <http://www.Minutemansoftware.com>). Необходимо отметить также, что для создания имитационных моделей требуются знания специальных алгоритмических языков, выражающих те понятия, которыми оперирует специалист, создающий эти модели. Каждый из них имеет свои специфические качества, касающиеся:

- сложности представления понятий имитационного моделирования;
- языковой основы;
- количества базовых понятий.

Важным фактором применения языка имитационного моделирования является наличие эффективной реализации транслятора на базе выбранной ЭВМ. При наличии многофункционального интерфейса пользователя отпадает необходимость во многих операторах языка. Необходимо оставить в языке только описание и операции имитационной части. Поэтому, при построении имитационной модели при решении бизнес-задач, желательно применять, в идеальном варианте, специализированный язык имитационного моделирования.

В современной теории имитационного моделирования существуют четыре основных подхода [Borshchev, Filippov, 2006]:

- Моделирование динамических систем (системы имитационного моделирования: MATLAB Simulink, VinSim и др.),
- Дискретно-событийное моделирование (GPSS, Arena, eMPlant, AutoMod, PROMODEL, Enterprise Dynamics, FlexSim и др.) [Серова, 2007],
- Системная динамика (СИМ: VenSim, PowerSim, iThink, и др.) и
- Агентное моделирование (системы имитационного моделирования AnyLogic [Карпов, 2005], Swarm, Repast и др.).

В каждом из этих направлений развиваются свои инструментальные средства, свои системы имитационного моделирования и языки.

Системная динамика (СД) и Динамические системы — традиционные устоявшиеся подходы, Агентное моделирование (АМ) — относительно новый. СД и Динамические системы оперируют в основном с непрерывными во времени процессами, а Дискретно-событийное моделирование и Агентное — в основном с дискретными.

В качестве базовых концепций формализации и структуризации в современных системах имитационного моделирования, наиболее часто применяемых при решении бизнес-задач, используются следующие два подхода:

- процессно-транзактно-ориентированные системы моделирования, основанные на описании процессов (process description). На современном рынке информационных технологий они представляют дискретно-событийный подход имитационного моделирования и являются наиболее представительным классом систем такого рода. Это системы: GPSS, Arena, Extend, AutoMod, ProModel, Witness, Taylor, eM-Plant, QUEST, SIMFACTORY II.5, SIMPLE++ и др. [Серова, 2007];
- агентное моделирование, при котором модели используются для исследования децентрализованных систем, динамика и функционирование которых определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот, эти правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Представитель российского рынка систем этого класса является пакет AnyLogic [Карпов, 2005];

Использование систем имитационного моделирования, реализующих дискретно-событийный и агентный подходы, наиболее успешно применяются в таких областях бизнес-моделирования, как моделирование бизнес-процессов и моделирование сервисов. СИМ Arena интегрируется с CASE-средством функционального моделирования бизнес-процессов – BPWin, а GPSS обладает необходимым инструментарием, для моделирования процессов, связанных с такой динамично развивающейся областью знаний, как сервисно-ориентированная экономика [Серова, 2007].

Заключение

В заключение можно констатировать, что организация, решившая использовать в своей деятельности современные средства бизнес-моделирования, может выбрать методологию из нескольких стандартных. Выбор методологий должен базироваться на понимании их возможностей и недостатков, четком осознании целей использования создаваемых моделей. Налицо эволюция развития средств и инструментов бизнес-моделирования, причем наблюдается тенденция перехода от средств визуального описания небольших участков бизнеса к средствам описания архитектуры организации в целом. Расширяются области применения моделирования - от обмена информацией внутри небольшой группы специалистов до управления распределенными организациями, предполагающими наличие исчерпывающей информации о деятельности организации в целом. Появившиеся возможности интеграции между разными подходами бизнес-моделирования позволяют полноценно вписать средства моделирования и анализа в существующую инфраструктуру организаций. Наиболее перспективным направлением представляется все более полная взаимосвязь систем бизнес-моделирования и анализа с системами управления организацией.

Библиография

- [Вендров, 2000] А.М. Вендров. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М.: Финансы и Статистика (ФиС), 2000.
- [Грабауров, 2001] В.А. Грабауров. Информационные технологии для менеджеров. – М.: Финансы и Статистика (ФиС), 2001.
- [Ильин, 2006] В.В.Ильин. Моделирование бизнес-процессов. Практический опыт разработчика. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006.
- [Карпов, 2005] Ю.Карпов. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. – С-Пб, БХВ-Петербург, 2005.
- [Лычкина, 2007] Н.Н. Лычкина. Имитационные модели в процедурах и системах поддержки принятия стратегических решений на предприятиях. Бизнес-информатика №1-2007.
- [Маклаков, 2003] С.В. Маклаков. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler. – М.: «ДИАЛОГ МИФИ», 2003.
- [Мошела, 2004] Девид Мошела. Бизнес-перспективы информационных технологий: как заказчик определяет контуры технологического роста; Пер. с англ. – М.: МПБ «Деловая культура», Альпина Бизнес Букс.-2004.
- [Прошин, 2006] Прошин Ф. Бизнес-моделирование: задачи и инструменты. IT News. 2006. <http://www.olap.ru/home.asp?artId=295>
- [Репин, Елиферов, 2008] В.В.Репин, В.Г. Елиферов. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. Практический менеджмент.- 6-е изд.– М.: РИА «Стандарты и качество», 2008.
- [Серова, 2007] Е. Серова. Имитационное моделирование в современном менеджменте. Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика». СПб, 2007г.
- [Borshchev, Filippov, 2004] A. Borshchev, A. Filippov. AnyLogic — Multi-Paradigm Simulation for Business, Engineering and Research. The 6th IIE Annual Simulation Solutions Conference, March 15-16, 2004, Orlando, Florida, USA.
- [Borshchev, Filippov, 2006] A. Borshchev, A. Filippov. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling/ site by XJ Technologies., 2006.
- [Gavrilova, 2007] T. Gavrilova, S. Puuronen. In search of a vision: ontological view on user modeling. KDS-2007, conferences' score.
- GPSS World reference manual. Fourth Edition 2001. Copyright Minuteman Software. Holly Springs, NC, U.S.A. 2001; http://www.minutemansoftware.com/reference/reference_manual.htm
- GPSS World Tutorial Manual. Copyright Minuteman Software. Holly Springs, NC, U.S.A. 2001. http://www.minutemansoftware.com/tutorial/tutorial_manual.htm
- [Turban, 2006] E.Turban, D. Leidner, E. McLean, and J. Wetherbe. Information Technology for Management. – WILEY, 2006.

Сведения об авторах

Елена Серова – к.э.н., зам. заведующего кафедрой Информационные технологии в менеджменте, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Высшая школа менеджмента; пер. Декабристов, 16, Санкт-Петербург, 199155, Россия; e-mail: serovah@som.pu.ru; serovah75@gmail.com

ОДИН КЛАСС ОТРАСЛЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ И ФУНКЦИЙ ПРИБЫЛИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Игорь Ляшенко

Аннотация: *Исследуется вопрос построения эколого-экономической производственной функции отрасли, мощности которой распределены по технологиям. Установлены двойственные соотношения, связывающие производственную функцию и функцию прибыли и позволяющие одну из них восстанавливать по другой. Для случая конечного числа технологий и линейности функций затрат экономических и экологических ресурсов указан эффективный путь построения производственной функции.*

Ключевые слова: *экологическая экономика, экономические и экологические ресурсы, производственная функция, функция прибыли, параметрическая задача линейного программирования, двойственные задачи.*

ACM Classification Keywords: *G.1.6 Optimization – Constrained optimization, J.4 Social and Behavioral sciences – Economics*

Conference: *The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008*

Введение

Объектом настоящего исследования является экологическая экономика, в которой действуют рыночные механизмы совершенной конкуренции. Рассматривается отрасль, выпускающая однородную продукцию и при этом использующая n видов производственных факторов текущего пользования (экономических ресурсов) и m видов лимитов на загрязнения окружающей среды (экологических ресурсов). В отрасли имеются различные технологические процессы производства, характеризующиеся различными затратами экономических ресурсов и различными выбросами загрязнений в окружающую среду при выпуске единицы продукции отрасли. Интенсивности использования технологий ограничены имеющимися в отрасли мощностями.

В работе Петрова А.А. и Поспелова И.Г. [Петров, Поспелов, 1979] была обоснована целесообразность использования производственных функций, построенных на основе информации о распределении мощностей по технологиям, в макроэкономических моделях роста. Впервые распределения мощностей по технологиям были использованы в [Hauthakker, 1955] для анализа производственных функций типа Кобба-Дугласа. В работах [Johansen, 1969], [Johansen, Hershoug, 1969], [Johansen, 1972] был предложен подход к построению производственной функции на основе информации о распределении ее мощностей по технологиям. В работе [Hildenbrand, 1981] изучались некоторые свойства соответствия между распределениями мощностей по технологиям и производственными функциями. В работе [Шананин, 1979] для доказательства однозначности этого соответствия использовались функции прибыли. В работе [Шананин, 1984] исследование этого соответствия производилось на основе изучения преобразований, связывающих функции прибыли с распределением мощностей по технологиям и производственными функциями. Однако все это касалось производственных функций и функций прибыли, зависящих только от экономических ресурсов.

В последнее время большой интерес исследователей проявляется к изучению экологической экономики и построению соответствующих эколого-экономических производственных функций. Актуальным стало установление соответствия между производственной функцией и функцией прибыли для экологической

экономики рыночного типа. Настоящая работа и посвящается этому вопросу. При этом применяется методика, описанная в работе Шананина А.А. [Шананин, 1984].

Основной текст

Предположим, что при создании мощности осуществляется выбор технологии, по которой эта мощность функционирует. Тогда в любой фиксированный момент времени мощности отрасли оказываются распределенными по технологиям.

Каждая технология характеризуется вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ затрат экономических ресурсов на выпуск единицы продукции, а также при этом вектором $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)^T$ выбросов загрязнений в окружающую среду. Предположим, что существует локально суммируемая, неотрицательная функция $\mu(x, z)$, определенная на R_{n+m}^+ и такая, что для каждого ограниченного борелевского множества $D \subset R_{n+m}^+$ суммарная мощность $M(D)$ технологий (x, z) равна

$$M(D) = \int_D \mu(x, z) dx dz.$$

Функция $\mu(x, z)$ является распределением мощностей по технологиям. Множество $D_\mu = \{(x, z) \in R_{n+m}^+ \mid \mu(x, z) > 0\}$ называется множеством допустимых технологий. Считается, что $D_\mu \subset R_{n+m}^+$ имеет положительную меру Лебега.

Суммарная мощность отрасли

$$M = \int_{R_{n+m}^+} \mu(x, z) dx dz.$$

Для полной загрузки мощностей отрасли необходимо, чтобы поток экономических и экологических ресурсов, который поступает в распоряжение отрасли, был не меньше таких величин

$$L_i = \int_{R_{n+m}^+} x_i \mu(x, z) dx dz, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$S_j = \int_{R_{n+m}^+} z_j \mu(x, z) dx dz, \quad j = 1, \dots, m.$$

Пусть $l = (l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ – вектор потоков экономических ресурсов, $s = (s_1, s_2, \dots, s_m)^T$ – вектор потоков экологических ресурсов, поступающих в распоряжение отрасли. Если $l_i < L_i$, $1 \leq i \leq n$, или $s_j < S_j$, $1 \leq j \leq m$, то нельзя полностью загрузить все мощности. Обозначим через $u(x, z)$ степень загрузки мощности, соответствующей технологии (x, z) . Предполагается, что $u(x, z)$ – измеримая по Лебегу функция, определенная на R_{n+m}^+ . Рассмотрим задачу о такой загрузке мощностей отрасли, при которой имеющиеся потоки экономических ресурсов l и экологических ресурсов s распределяются так, чтобы суммарный выпуск продукции был максимальным:

$$\int_{R_{n+m}^+} u(x, z) \mu(x, z) dx dz \rightarrow \max_{u(x, z)} \quad (1)$$

$$\int_{R_{n+m}^+} x u(x, z) \mu(x, z) dx dz \leq l, \quad (2)$$

$$\int_{R_{n+m}^+} z u(x, z) \mu(x, z) dx dz \leq s, \quad (3)$$

$$0 \leq u(x, z) \leq 1. \quad (4)$$

В работе Шананина А.А. [Шананин, 1984] доказаны утверждения, которые вытекают из обобщенной леммы Неймана-Пирсона, о существовании решения аналогичной задачи, в которой учитываются только затраты экономических ресурсов:

$$\begin{aligned} \int_{R_{n+m}^+} u(x)\mu(x)dx &\rightarrow \max_{u(x)}, \\ \int_{R_{n+m}^+} xu(x)\mu(x)dx &\leq l, \\ 0 &\leq u(x,z) \leq 1. \end{aligned}$$

Наше исследование состоит в обобщении результатов работы [Шананин, 1984] на случай задачи (1) – (4). В большой степени это переформулировка соответствующих теорем и эколого-экономическая интерпретация полученных результатов. Главная цель – это показать применимость результатов [Шананин, 1984] для случая экологической экономики и показать, как эффективно строить в аналитическом виде производственную функцию при конечном числе линейных технологий.

Теорема 1. При $l \geq 0$, $s \geq 0$ задача оптимизации (1) – (4) имеет решение $u_{is}^*(x,z)$.

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Теорема 2. Пусть $u_{is}^*(x,z)$ – оптимальное решение задачи (1) – (4) при $l \geq 0$, $s \geq 0$. Тогда существуют такие не равные нулю одновременно числа $p_0 \geq 0$, $p = (p_1, \dots, p_n) \geq 0$, $q = (q_1, \dots, q_m) \geq 0$, что

$$u_{is}^* = \begin{cases} 1 & \text{при почти всех } (x,z) \in D_\mu \cap \{(x,z) | px + qz < p_0\}, \\ 0 & \text{при почти всех } (x,z) \in D_\mu \cap \{(x,z) | px + qz \geq p_0\} \end{cases} \quad (5)$$

и что

$$p_i \left[l_i - \int_{R_{n+m}^+} x_i u_{is}^*(x,z) \mu(x,z) dx dz \right] = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

$$q_j \left[s_j - \int_{R_{n+m}^+} z_j u_{is}^*(x,z) \mu(x,z) dx dz \right] = 0, \quad j = 1, \dots, m. \quad (7)$$

При этом $p_0 > 0$, если $l > 0$, $s > 0$.

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Теорема 3. Пусть $p_0 > 0$, $p \geq 0$, $q \geq 0$. Тогда функция Хевисайда $u_{is}^*(x,z) = \theta(p_0 - px - qz)$ является оптимальным решением задачи (1) – (4) при условии, что

$$l = \int_{R_{n+m}^+} x \theta(p_0 - px - qz) \mu(x,z) dx dz < +\infty, \quad (8)$$

$$q = \int_{R_{n+m}^+} z \theta(p_0 - px - qz) \mu(x,z) dx dz < +\infty. \quad (9)$$

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Замечание 1. Утверждения теорем 1 и 3 следуют из обобщенной леммы Неймана-Пирсона [Петров, Поспелов, Шананин, 1996] при дополнительном условии, что функции $\mu(x,z), x_1 \mu(x,z), \dots, x_n \mu(x,z), z_1 \mu(x,z), \dots, z_m \mu(x,z)$ суммируемы на R_{n+m}^+ .

Определение 1. Эколого-экономической производственной функцией $F(l,s)$ будем называть функцию, которая сопоставляет векторам $l \geq 0$, $s \geq 0$ оптимальное значение функционала (1) в задаче (1) – (4).

При заданном распределении мощностей по технологиям $\mu(x,z)$ эколого-экономическая производственная функция $F(l,s)$ определяет максимальный выпуск продукции отрасли по вектору l потоков экономических ресурсов и вектору s потоков экологических ресурсов, поступающих в распоряжение отрасли, при условии, что эти потоки оптимально распределяются между мощностями отрасли. Величины потоков экономических и экологических ресурсов и их распределение между мощностями определяются рыночными экономическими механизмами функционирования отрасли, состоящей из множества независимых конкурирующих фирм. Учитывая теоремы 2 и 3, опишем класс экономических механизмов, которые обеспечивают оптимальное распределение между мощностями (фирмами) потоков экономических и экологических ресурсов, поступающих в распоряжение отрасли экологической экономики.

Предположим, что все продукты распределяются посредством актов купли-продажи, причем каждый продукт продается и покупается по одной и той же цене. Пусть $p_0 > 0$ – цена на выпускаемую отраслью продукцию, $p = (p_1, \dots, p_n) \geq 0$ – вектор цен на экономические ресурсы, $q = (q_1, \dots, q_m) \geq 0$ – вектор цен на экологические ресурсы (плата за лимиты), которые используются отраслью. Прибыль от выпуска единицы продукции по технологии (x, z) при заданных ценах p_0 , p и q равна $p_0 - px - qz$. Предположим, что прибыльные технологии (x, z) , т.е. удовлетворяющие условию $p_0 - px - qz > 0$, действуют на полную мощность и обеспечиваются необходимыми для этого экономическими и экологическими ресурсами. Обозначим через $G(p_0; p, q) = \{(x, z) | (x, z) \in R_{n+m}^+, p_0 > px + qz\}$ множество прибыльных при ценах p_0 , p , q технологий (фирм). Предположим, что убыточные технологии, т.е. удовлетворяющие условию $p_0 - px - qz < 0$, не используются (убыточные фирмы не функционируют) и не обеспечиваются экономическими и экологическими ресурсами. Экономические механизмы, удовлетворяющие сформулированным выше предположениям, представляют экономические механизмы рыночного типа.

При ценах $p_0 > 0$, $p \geq 0$, $q \geq 0$ суммарный выпуск отрасли равен

$$g_0(p_0; p, q) = \int_{G(p_0; p, q)} \mu(x, z) dx dz; \quad (10)$$

суммарные затраты отраслью экономических ресурсов i -го вида, $1 \leq i \leq n$, равны

$$g_i(p_0; p, q) = \int_{G(p_0; p, q)} x_i \mu(x, z) dx dz; \quad (11)$$

суммарные затраты отраслью экологических ресурсов j -го вида, $1 \leq j \leq m$, равны

$$h_j(p_0; p, q) = \int_{G(p_0; p, q)} z_j \mu(x, z) dx dz; \quad (12)$$

суммарная прибыль отрасли равна

$$\Pi(p_0; p, q) = \int_{G(p_0; p, q)} (p_0 - px - qz) \mu(x, z) dx dz. \quad (13)$$

Определение 2. Назовем $g_0(p_0; p, q)$ функцией предложения продукции; $g_i(p_0; p, q)$ – функцией спроса на экономический ресурс i -го вида, $1 \leq i \leq n$; $h_j(p_0; p, q)$ – функцией спроса на экологический ресурс j -го вида, $1 \leq j \leq m$; $\Pi(p_0; p, q)$ – функцией прибыли отрасли.

Следствие. При любых $p_0 > 0$, $p_1 \geq 0, \dots, p_n \geq 0$, $q_1 \geq 0, \dots, q_m \geq 0$, если $g_i(p_0; p, q) < +\infty$, $1 \leq i \leq n$, $h_j(p_0; p, q) < +\infty$, $1 \leq j \leq m$, то справедливо тождество

$$g_0(p_0; p, q) = F(g(p_0; p, q), h(p_0; p, q)). \quad (14)$$

где $g_0(p_0; p, q) = (g_1(p_0; p, q), \dots, g_n(p_0; p, q))$, $h_0(p_0; p, q) = (h_1(p_0; p, q), \dots, h_m(p_0; p, q))$.

Покажем, что определенная выше эколого-экономическая производственная функция $F(l, s)$ обладает свойствами, которые обычно постулируются в неоклассической теории производства.

Теорема 4. Функция $F(l, s)$, определенная на R_{n+m}^+ , монотонно не убывает по каждому аргументу, вогнута, обращается в нуль на $R_{n+m}^+ \setminus \text{int} R_{n+m}^+$.

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Теорема 5. Функция $F(l, s)$ непрерывна на R_{n+m}^+ .

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Лемма. Пусть $p_0 > 0$, $p = (p_1, \dots, p_n) \geq 0$, $q = (q_1, \dots, q_m) \geq 0$. Тогда для любого измеримого по Лебегу множества $U \subset R_{n+m}^+$ выполняется неравенство

$$\int_U (p_0 - px - qz) \mu(x, z) dx dz \leq \int_{G(p_0; p, q)} (p_0 - px - qz) \mu(x, z) dx dz = \Pi(p_0; p, q).$$

Доказательство этой леммы очевидно.

Теорема 6. Пусть $(L, S) \in \text{int} R_{n+m}^+$. Предположим, что существует такой вектор $(p, q) \in R_{n+m}^+$, что $F(L, S) = g_0(1; p, q)$, $g(1; p, q) \leq L$, $h(1; p, q) \leq S$, $p[L - g(1; p, q)] = 0$, $q[S - h(1; p, q)] = 0$ и множество $E_\mu = \{(x, z) \in R_{n+m}^+ \mid (1 - p^1 x - q^1 z) \mu(x, z) < 0, (1 - px - qz) \mu(x, z) < 0\}$ имеет положительную меру при любых $(p^1, q^1) \geq 0$, $(p^1, q^1) \neq (p, q)$ из некоторой открытой окрестности (p, q) . Тогда производственная функция $F(l, s)$ дифференцируема в точке $l = L$, $s = S$ и

$$\left. \frac{\partial F(l, s)}{\partial l_i} \right|_{\substack{l=L \\ s=S}} = p_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (15)$$

$$\left. \frac{\partial F(l, s)}{\partial s_j} \right|_{\substack{l=L \\ s=S}} = q_j, \quad j = 1, \dots, m. \quad (16)$$

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Замечание 2. При нарушении условий, изложенных в теореме 6, производственная функция $F(l, s)$ может быть недифференцируемой в точке $l = L$, $s = S$.

Важным показателем локального поведения производственной функции $F(l, s)$ в окрестности точки $l = L$, $s = S$ является эластичность производства

$$\varepsilon(L, S) = \frac{1}{F(L, S)} \left(\sum_{i=1}^n L_i \left. \frac{\partial F(L, S)}{\partial l_i} \right|_{\substack{l=L \\ s=S}} + \sum_{j=1}^m S_j \left. \frac{\partial F(L, S)}{\partial s_j} \right|_{\substack{l=L \\ s=S}} \right). \quad (17)$$

Теорема 7. Предположим, что $F(l, s)$ дифференцируема в точке $l = L > 0$, $s = S > 0$ и что выполняются соотношения $F(L, S) = g_0(1; p, q)$, $g(1; p, q) \leq L$, $h(1; p, q) \leq S$, $p[L - g(1; p, q)] = 0$, $q[S - h(1; p, q)] = 0$, $p = (p_1, \dots, p_n) \geq 0$, $q = (q_1, \dots, q_m) \geq 0$ и равенства (15) - (16). Тогда $\varepsilon(L, S) < 1$.

Доказательство этой теоремы очевидно и не представляет трудностей.

Теорема 8. Существуют такие вектора $p = (p_1, \dots, p_n) > 0$ и $q = (q_1, \dots, q_m) > 0$, что функция $F(l, s)$ дифференцируема в точке $l = g(1; p, q)$, $s = h(1; p, q)$, причем выполняются равенства

$$\left. \frac{\partial F(l, s)}{\partial l_i} \right|_{\substack{l=g(1;p,q) \\ s=h(1;p,q)}} = p_i, \quad \left. \frac{\partial F(l, s)}{\partial s_j} \right|_{\substack{l=g(1;p,q) \\ s=h(1;p,q)}} = q_j. \quad (18)$$

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Замечание 3. Для функции Кобба-Дугласа $Al^\alpha s^{1-\alpha}$ ($0 \leq \alpha \leq 1$, $A > 0$) и для CES-функции $A[\alpha l^{-\rho} + (1-\alpha)s^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}}$ ($0 \leq \alpha \leq 1$, $A > 0$, $\rho \in (-1, 0) \cup (0, +\infty)$) при любых $l > 0$, $s > 0$ выполняется соотношение $\varepsilon(L, S) = 1$. Поэтому из теорем 7 и 8 следует, что не существует такого локально суммируемого на R_2^+ распределения по технологиям $\mu(x, z)$, для которого соответствующей производственной функцией $F(l, s)$ являлась бы функция Кобба-Дугласа или CES-функция. Однако, как доказано в [Nauthakker, 1955], функция типа Кобба-Дугласа

$$F(l, s) = Al^{\frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + 1}} s^{\frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 + 1}}, \quad A > 0, \quad \alpha_1 > 0, \quad \alpha_2 > 1$$

является производственной функцией для некоторого распределения мощностей по технологиям вида

$$\mu(x, z) = Bx^{\alpha_1 - 1} z^{\alpha_2 - 1}.$$

Теорема 9. При любых $p_0 > 0$, $p = (p_1, \dots, p_n) \geq 0$, $q = (q_1, \dots, q_m) \geq 0$ выполняется соотношение

$$\Pi(p_0; p, q) = \sup_{\substack{l \geq 0 \\ s \geq 0}} [p_0 F(l, s) - pl - qs]. \quad (19)$$

Причем, если $g(p_0; p, q) < \infty$, $h(p_0; p, q) < \infty$, то супремум в (19) достигается в точке $l = g(p_0; p, q)$, $s = h(p_0; p, q)$.

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Теорема 10. При любых $p_0 > 0$, $l = (l_1, \dots, l_n)^T \geq 0$, $s = (s_1, \dots, s_m)^T \geq 0$ выполняется соотношение

$$F(l, s) = \frac{1}{p_0} \inf_{\substack{p \geq 0 \\ q \geq 0}} [\Pi(p_0; p, q) + pl + qs]. \quad (20)$$

Причем, если $l > 0$, $s > 0$, то инфимум в (20) достигается в точке $(p, q) \in R_{n+m}^+$ такой, что $F(l, s) = g_0(p_0; p, q)$, $g(p_0; p, q) \leq l$, $h(p_0; p, q) \leq s$, $p[l - g(p_0; p, q)] = 0$, $q[s - h(p_0; p, q)] = 0$.

Доказательство этой теоремы осуществляется аналогично [Шананин, 1984].

Соотношения (19), (20) в некотором смысле являются двойственными и позволяют восстанавливать функцию прибыли отрасли экологической экономики при известной отраслевой производственной функции либо наоборот: восстанавливать отраслевую производственную функцию $F(l, s)$ при известной функции прибыли $\Pi(p_0; p, q)$.

Однако при этом для нахождения отраслевой производственной функции $F(l,s)$ все равно приходится решать задачу оптимизации (1) – (4) в функциональном пространстве, что представляет немалую трудность. Задача значительно упрощается, если рассматривать конечное число N технологий и линейные функции затрат экономических и экологических ресурсов:

$$x_{jk} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, N; \quad z_{jk} \geq 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, N.$$

В этом случае задача (1) – (4) приобретает вид

$$\sum_{k=1}^N u_k M_k \rightarrow \max, \quad (21)$$

$$\sum_{k=1}^N x_{jk} u_k M_k \leq l_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^N z_{jk} u_k M_k \leq s_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (23)$$

$$0 \leq u_k \leq 1, \quad k = 1, \dots, N. \quad (24)$$

В случае, когда требуется аналитический вид производственной функции $F(l,s)$, эффективным методом решения задачи (21) – (24) является переход к двойственной задаче параметрического линейного программирования

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i l_i + \sum_{j=1}^m \beta_j s_j + \sum_{k=1}^N \gamma_k \rightarrow \min, \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i x_{ik} M_k + \sum_{j=1}^m \beta_j z_{jk} M_k + \gamma_k \geq M_k, \quad k = 1, \dots, N, \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \alpha_i &\geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \\ \beta_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, m, \\ \gamma_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, N, \end{aligned} \quad (27)$$

блок ограничений в которой не содержит параметров l, s и поэтому сравнительно просто находятся все опорные решения $\alpha^1, \beta^1, \gamma^1; \dots; \alpha^R, \beta^R, \gamma^R$, представляющие неотрицательные кусочно-постоянные функции от аргументов l, s .

В точке оптимума целевые функции (21) и (27) совпадают. Поэтому отраслевой эколого-экономической производственной функцией будет

$$F(l,s) = \min[\alpha^1 l + \beta^1 s + \gamma^1 e, \dots, \alpha^R l + \beta^R s + \gamma^R e], \quad (28)$$

где $e = (1, 1, \dots, 1)^T$ – единичный вектор размерности N .

Заключение

Таким образом, в работе построены отраслевые производственная функция и функция прибыли для экологической экономики. Установлена связь между этими функциями. Предложен метод построения производственной функции для линейной экономики с конечным числом технологических способов.

Литература

- [Петров, Поспелов, 1979] Петров А.А., Поспелов И.Г. Системный анализ развивающейся экономики: к теории производственных функций. 1 // Изв. АН СССР. Сер. техн. кибернетика. – 1979. – №2. – с. 18-27.
- [Hauthakker, 1955] Hauthakker H.S. The Pareto-Distribution and Cobb-Douglas Production Function in Activity Analysis // Rev. Econ. Stud. – 1955/56. – Vol. 23(1), #60. – p. 27-31.
- [Johansen, 1969] Johansen L. Outline of an Approach to Production Studies // Memorandum from Inst. of Economics. Univ. of Oslo. – 28 April, 1969.
- [Johansen, Hersoug, 1969] Johansen L., Hersoug T. Derivation of macro production functions from distributions of micro units with respect to input coefficients. Some mathematical illustrations // Mem. Inst. Econ. Univ. of Oslo. – 18 October, 1969.
- [Johansen, 1972] Johansen L. Production function. – Amsterdam-London: North Holland Co., 1972. – 274 p.
- [Hildenbrand, 1981] Hildenbrand W. Short-run production functions based on micro-data // Econometrica. – 1981. – v. 49, #5. – p. 1095-1125.
- [Шананин, 1979] Шананин А.А. К теории производственных функций. – В кн.: Модели и алгоритмы программного метода планирования. – М., ВЦ АН СССР, 1979. – с. 24-50.
- [Шананин, 1984] Шананин А.А. Исследование одного класса производственных функций, возникающих при макроописании экономических систем // Журн. вычисл. матем. и матем. физики. – 1984. – т. 24, №12. – с. 1799-1811.
- [Петров, Поспелов, Шананин, 1996] Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.

Информация об авторе

Игорь Ляшенко – д.ф.-м.н., профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, факультет кибернетики, ул. Васильковская, 42, кв. 44, Киев-03022, Украина;
e-mail: lyashenko@univ.kiev.ua

